

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
20 décembre 2001 (20.12.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 01/96244 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : C02F 1/14,
B01D 3/00

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR01/01832

(22) Date de dépôt international : 13 juin 2001 (13.06.2001)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
00 07480 13 juin 2000 (13.06.2000) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **THIRD
MILLENUM WATER COMPANY** [FR/FR]; Le Bois
Tranché, F-49230 Vauchretien (FR).

(72) Inventeur; et
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **DOMEN,
Jean-Paul** [FR/FR]; Le Bois Tranché, F-49230 Vauchre-
tien (FR).

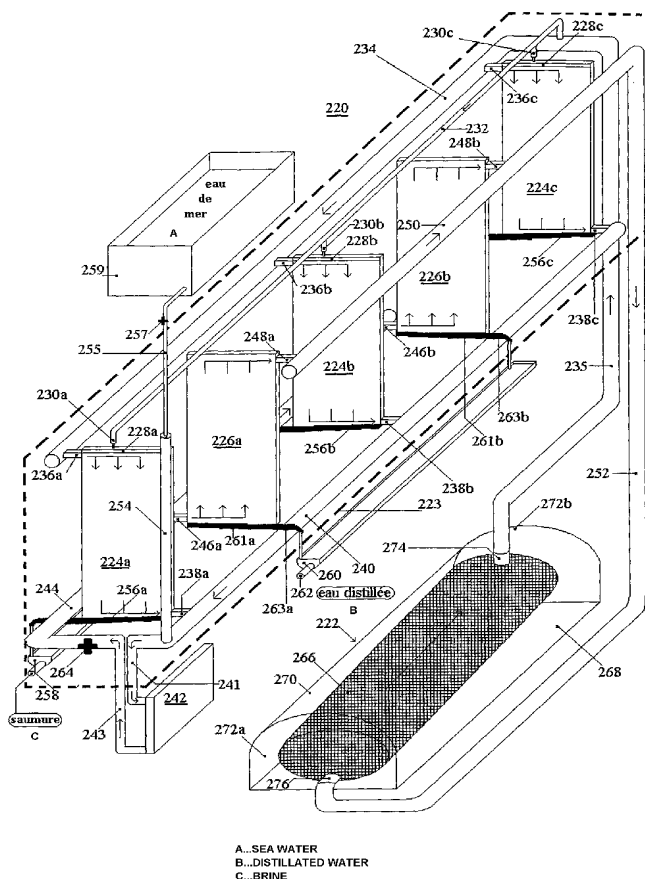
(74) Mandataires : **POCHART, François** etc.; Cabinet
Hirsch-Pochart, 34, rue de Bassano, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DISTILLATION METHOD AND APPLIANCES FOR FRESH WATER PRODUCTION

(54) Titre : PROCEDES ET APPAREILS DE DISTILLATION NOTAMMENT POUR PRODUIRE DE L'EAU DOUCE



(57) Abstract: The invention concerns appliances, one of which uses solar energy as sole source of power. It comprises an accumulation solar water heater (222) and quasi-reversible liquid/vapour heat exchanging alveolar elements, provided with hydrophilic coatings. Elements of types E and C, respectively assigned to water evaporation (224 a, b, c) and to vapour condensation (226 a-b) are interposed, with narrow free spaces, in a heat-insulated treatment chamber (223), arranged above the boiler (222). Hot water coming from the heater (222) flows in closed circuit, by thermosiphon, from the top downwards of elements E and from the bottom upwards of elements C. A slightly cooling member (242) is interposed between the bottom collectors (240-244) of elements E and C. Hot water spills over slowly from the top of the hydrophilic coatings of elements E and the vapour produced is condensed opposite, on the walls of elements C. Sea water to be distilled is introduced through a pipe (254) upstream of the bottom collector (244) of elements C. Two valves (264-257) regulate the circulation of hot water and the supply of sea water. A high performance coefficient is obtained in good economic conditions. The invention is useful for continuous production of fresh water and/or brine; for distillation of all liquids with standard boilers; for economical production of concentrates; and for cogeneration of electricity and fresh water.

(57) Abrégé : Un de ces appareils utilise le soleil comme unique source d'énergie. Il comprend un chauffe-eau solaire à accumulation (222) et des éléments alvéolaires d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible, pourvus de revêtements hydrophiles. Des éléments de types E et C, respectivement affectés à l'Evaporation d'eau (224 a, b, c) et à la Condensation de

[Suite sur la page suivante]

WO 01/96244 A1



DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement

vapeur (226 a-b) sont intercalés, avec des espaces libres étroits, dans une chambre de traitement calorifugée (223), disposée au-dessus de la chaudière (222). L'eau chaude sortant de la chaudière (222) circule en circuit fermé, par thermosiphon, de haut en bas des éléments E et de bas en haut des éléments C. Un organe de léger refroidissement (242) est intercalé entre les collecteurs bas (240-244) des éléments E et C. De l'eau chaude est déversée lentement en haut des revêtements hydrophiles des éléments E et la vapeur produite se condense en face, sur les parois des éléments C. De l'eau de mer à distiller est introduite par un conduit (254) en amont du collecteur bas (244) des éléments C. Deux vannes (264-257) règlent la circulation d'eau chaude et l'arrivée d'eau de mer. Un coefficient de performance élevé est obtenu à de bonnes conditions économiques.

PROCEDES ET APPAREILS DE DISTILLATION
NOTAMMENT POUR PRODUIRE DE L'EAU DOUCE

5

L'invention se rapporte à des procédés et à des appareils de distillation nouveaux ainsi qu'à des échangeurs thermiques particuliers utilisés dans ces appareils. De tels procédés et appareils sont susceptibles de présenter un coefficient de performance très élevé, c'est-à-dire pouvant réaliser une production d'eau douce, par unité d'énergie thermique consommée, très supérieure à la quantité d'eau de mer évaporée par cette même énergie (1,4 litre/kWh). Deux applications particulières (mais non limitatives) de l'invention concernent principalement la production d'eau douce, notamment à partir d'eau de mer, mais également celle de concentrés tels que sirops ou saumures.

10

15

De nombreux appareils de distillation de liquides utilisent des échangeurs thermiques creux pour condenser la vapeur produite par le chauffage du liquide à distiller. Dans les procédés mis en œuvre par ces appareils, de la vapeur ou de l'air saturé en vapeur peut circuler à l'intérieur ou à l'extérieur de l'échangeur, cependant qu'un liquide froid circule à l'extérieur ou à l'intérieur de l'échangeur. Le premier cas est celui du serpentin des alambics pour liquides alcoolisés. Le second cas est celui de différents appareils de distillation d'eau salée. Dans les deux cas, le coefficient de performance est particulièrement faible.

20

Le brevet français 93.14615, accordé à Desplats et autres, décrit un appareil de distillation d'eau de mer dans lequel,

25

- une pompe fait circuler de l'eau salée froide dans des conduits hélicoïdaux, installés dans une chambre de condensation, puis répand en pluie cette eau ainsi réchauffée sur des conduits semblables, installés dans une chambre d'évaporation et traversés par un fluide de chauffage approprié ;

25

- un ventilateur fait circuler de l'air en circuit fermé, de bas en haut de la chambre d'évaporation et de haut en bas de la chambre de condensation ;

25

- l'air se réchauffe et s'humidifie dans la chambre d'évaporation puis il passe dans la chambre de condensation où il se refroidit et s'assèche cependant que de la vapeur se condense sur les conduits de cette chambre ;

30

- l'eau douce est recueillie en bas de la chambre de condensation et la saumure en bas de la chambre d'évaporation.

35

Dans cet appareil, la chaleur fournie aux conduits de la chambre d'évaporation est utilisée d'une manière peu efficace. En effet, la chaleur de condensation de la vapeur entraînée par l'air en circulation ne sert qu'à réchauffer quelque peu l'eau salée à distiller, avant que cette eau ainsi réchauffée ne subisse un chauffage plus important dans la chambre d'évaporation. En conséquence, le coefficient de performance de cet appareil de distillation est faible.

40

En revanche, dans les appareils exploitant la technique de distillation à multiple effet, connue sous le nom de « Multi-Stage Flash » (MSF), qui fait l'objet d'une exploitation industrielle importante dans plusieurs pays du Golfe Persique, pour le dessalement de l'eau de mer, un autre procédé est exploité qui fournit un excellent coefficient de performance. Cette technique est brièvement décrite à la page 39 de la revue anglaise « New Scientist » du 31 août 1991, dans un article intitulé « Fresh water from the sea », lequel, par ailleurs, fait une présentation assez complète des principales techniques de dessalement d'eau de mer (distillation et osmose inverse) alors disponibles et toujours exploitées. Le procédé MSF, développé dans

les années 50, consiste à chauffer de l'eau de mer dans une chaudière pour successivement alimenter des chambres d'évaporation et de condensation, à cloisons mitoyennes bonnes conductrices de la chaleur, disposées en série (une vingtaine généralement). D'une chambre à l'autre, la température diminue par palier et passe, par exemple, de 95 à 45°C. Dans ces chambres, grâce à l'action de pompes à vide, la présence de tout gaz incondensable est supprimée et la pression de vapeur y décroît par paliers, depuis une valeur proche de la pression atmosphérique pour la première jusqu'à une faible valeur pour la dernière, en accord avec la loi quasi-exponentielle, bien connue des spécialistes, qui lie la température de l'eau et sa pression de vapeur saturante. Dans chaque chambre, l'eau bout et une évaporation se produit. Une condensation de vapeur se réalise alors par convection naturelle sur la cloison mitoyenne aval des chambres et sur un ensemble d'éléments d'échange thermique vapeur/liquide constitué par des tubes étroits, parcourus à contre-courant par l'eau de mer à distiller. Dans chaque chambre, les gouttes d'eau condensée sont collectées pendant que la chaleur de condensation de la vapeur est récupérée, de manière à provoquer l'ébullition de l'eau présente dans la chambre aval et à élever par paliers la température de l'eau de mer qui traverse les tubes et alimente la chaudière. Le coefficient de performance de ces systèmes de distillation est élevé.

Les unités MSF, installées par dizaines dans la région du Golfe, sont de grosses usines qui produisent chacune de 4.000 à 20.000 m³/jour d'eau douce. Les quantités d'énergies thermique et mécanique, consommées par la chaudière et les pompes à vide, sont très importantes, mais cela ne pose aucun problème dans ces pays, ce qui n'est pas le cas dans la plupart des autres. Les avantages d'une unité MSF sont sa simplicité, sa fiabilité, sa durée de vie et son faible coût de maintenance. En revanche, le montant de l'investissement initial d'une unité MSF est particulièrement élevé et son utilisation réservée aux grandes agglomérations (de l'ordre du million d'habitants). La technique MSF se prête mal ou pas du tout, du fait de ses coûts d'installation et d'exploitation, à la réalisation d'unités de production journalière moyenne (quelques centaines de m³/jour, par exemple) ou a fortiori très petite (100 litres/jour, par exemple) permettant d'alimenter des petites communautés.

La présente invention dérive d'un procédé intéressant de distillation d'eau de mer, mis en œuvre dans un des alambics solaires de production d'eau douce, décrits dans une demande de brevet international, publiée sous le N° WO 98/16474, déposée par Jean-Paul DOMEN, auteur de la présente invention. Cet alambic solaire est constitué dans un ballon cylindrique de plusieurs mètres de long, en plastique souple, légèrement gonflé d'air. Il comprend trois chambres qui débouchent l'une dans l'autre et forment ainsi un circuit fermé, parcouru par un courant d'air engendré par un ventilateur. Il comporte une chambre d'évaporation disposée au-dessus d'une première chambre de condensation et une seconde chambre de condensation disposée en bout. La chambre d'évaporation possède une paroi extérieure noire, pourvue d'une couverture transparente de protection thermique légèrement gonflée d'air, et une paroi intérieure qui constitue une cloison mitoyenne mince la séparant de la première chambre de condensation. La face interne des parois de la chambre d'évaporation est pourvue d'un revêtement hydrophile, dans lequel circule lentement, par capillarité et gravité, l'eau de mer à distiller, amenée par une gouttière installée le long de la génératrice haute du ballon. Les faces internes des parois des deux chambres de condensation sont imperméables pendant que la première chambre possède une face externe thermiquement bien isolée et la seconde, une face externe refroidie par l'action d'un revêtement hydrophile, constamment humidifié, exposé à l'air et disposé à l'ombre.

Dans la chambre d'évaporation de cet alambic solaire, la chaudière produit à la fois de l'eau chaude et de la vapeur d'eau, à partir de deux surfaces d'évaporation, l'une directement chauffée par la source de chaleur (le rayonnement du soleil) et l'autre, constituée par la cloison mitoyenne. Le ventilateur fait circuler en circuit fermé un courant d'air entraînant la vapeur produite dans la chambre d'évaporation vers la première puis vers la seconde chambre de condensation. Dans la première chambre de condensation, la veine de courant d'air chaud et humide qui lèche la face imperméable de la cloison mitoyenne est, tout le long de cette cloison, toujours un peu plus chaude (1) que l'eau chaude qui s'écoule lentement, par capillarité et gravité, dans le revêtement hydrophile de l'autre face de cette cloison et (2) que la veine d'air, refroidi et asséché dans la seconde chambre de condensation, qui se réchauffe et s'humidifie progressivement, en circulant en sens inverse le long de cette autre face appartenant à la chambre d'évaporation. Il en résulte que, sur toute la face imperméable de cette cloison mitoyenne, de la vapeur d'eau se condense et que, à travers cette cloison mitoyenne, une partie de la chaleur de condensation de cette vapeur est transmise à l'eau de mer réchauffée qui circule dans le revêtement hydrophile de l'autre face. De la sorte, un recyclage partiel de la chaleur latente de condensation de la vapeur, condensée sur la face de la cloison mitoyenne appartenant à la première chambre de condensation, est réalisé dans la chambre d'évaporation. Il en résulte la production d'un supplément de vapeur, emporté par le courant d'air qui circule en circuit fermé dans les trois chambres. Dans les deux chambres de condensation, une ségrégation air/eau se produit, qui permet de recueillir l'eau douce aux points bas de ces deux chambres. Quant à la saumure, elle est recueillie au point bas de la cloison mitoyenne, du côté de la chambre d'évaporation.

Ce procédé donne des résultats intéressants mais cependant insuffisants pour deux raisons principales. Tout d'abord, la partie recyclée de la chaleur latente de condensation de la vapeur est peu importante parce que les échanges thermiques entre la première chambre de condensation et la chambre d'évaporation sont très faibles. Cela s'explique (1) par le fait que la veine d'air chaud et humide, qui participe à un échange thermique avec la cloison mitoyenne, a une épaisseur très petite par rapport aux dimensions transversales du courant d'air qui circule dans la première chambre de condensation et (2) parce que la surface totale de cette cloison mitoyenne est nécessairement limitée par les dimensions maximales acceptables du ballon. Dans ces conditions, l'air sortant de la première chambre de condensation est encore relativement chaud et humide. Le refroidissement et l'assèchement de cet air dans la seconde chambre de condensation sont également peu efficaces, car ils sont réalisés avec des limitations semblables à celles de la première, à savoir une surface de paroi extérieure froide nécessairement limitée et un écart moyen trop important entre cette surface froide et les veines d'air en circulation à l'intérieur.

Le premier objet de l'invention est de développer de nouveaux procédés de distillation qui extrapolent les concepts de base du procédé antérieur de J.P. DOMEN.

Le deuxième objet de l'invention est de développer de nouveaux procédés de distillation qui, en présence d'un gaz incondensable, réalisent des opérations d'évaporation et de condensation semblables à celles effectuées dans les systèmes MSF.

Le troisième objet de l'invention est de développer de tels procédés, de manière à ce qu'ils aient des coefficients de performance particulièrement élevés et qu'ils soient susceptibles de produire des volumes d'eau douce quotidiens déterminés, situés dans une plage allant de 0,1 à quelques centaines de m³/jour.

5 Le quatrième objet de l'invention est de construire des alambics à coefficient de performances élevé, notamment destinés à produire de l'eau douce et/ou des concentrés de solutions aqueuses, qui soient économiques à la construction, à l'exploitation et à la maintenance.

Le cinquième objet de l'invention est de construire des alambics, à haut coefficient de performance, qui soient particulièrement bien adaptés à traiter, à des conditions économiques intéressantes, l'eau de mer chaude produite par le refroidissement des moteurs marins, installés à terre ou à bord de navires.

10 Le sixième objet de l'invention est de construire des alambics solaires, à haut coefficient de performance, qui soient particulièrement bien adaptés à produire de l'eau douce, à des conditions économiques et techniques intéressantes, dans les régions sèches du littoral, dans les déserts au sous-sol contenant de l'eau saumâtre ou dans les régions tropicales ne disposant que d'eaux polluées.

15 Le septième objet de l'invention est de développer et fabriquer différents éléments d'échange thermique, efficaces et cependant bon marché, particulièrement bien adaptés à réaliser des recyclages importants de la chaleur latente de condensation de la vapeur produite au cours d'une distillation.

20 Selon l'invention, un procédé général nouveau de distillation à multiple effet, destiné à séparer de leur solvant liquide des matières en solution, est caractérisé en ce qu'il utilise un échange thermique à contre-courant, l'un des courants assurant l'évaporation du liquide et l'autre, la condensation de vapeur, de telle manière que, de préférence en toute zone d'opération, la chaleur de condensation de la vapeur est récupérée pour évaporer et/ou réchauffer du liquide à une pression partielle de vapeur inférieure, cette pression partielle étant variable et obtenue grâce à la présence d'un gaz incondensable assurant une pression totale sensiblement uniforme. "Pression sensiblement uniforme" sera en général compris comme ne variant pas plus de 20mbar, de préférence pas plus de 10mbar, avantageusement pas plus de 5mbar.

25 Selon une première caractéristique particulière du procédé général ci-dessus, le gaz incondensable est utilisé comme fluide caloporteur, cependant que les opérations d'évaporation et la condensation sont effectuées de part et d'autre des parois d'un échangeur thermique, à travers lesquelles passe le flux de chaleur, que les écoulements du gaz transportant la vapeur sont réalisés à contre-courant au cours de ces opérations, que le liquide à évaporer progresse sur l'une des faces de ces parois et que le liquide distillé se condense sur l'autre face, les sources chaude et froide étant situées aux deux extrémités du courant de gaz bouclé sur lui-même ainsi constitué.

30 Selon une combinaison du procédé général ci-dessus et de sa première caractéristique particulière, un premier procédé particulier de distillation à multiple effet, est caractérisé en ce que:

- des éléments d'échange thermique, creux et plats, aux parois extérieures et, le cas échéant, intérieures, adaptées à assurer un étalement sensiblement uniforme à tout liquide coulant sur elles, par gravité et/ou capillarité, sont disposés, verticaux ou inclinés, dans une chambre de traitement calorifugée, avec des espaces de séparation étroits, de largeur sensiblement constante, remplis d'un gaz incondensable ;
- 40 - le liquide à distiller est chauffé et de la vapeur est produite ;
- un courant de gaz chaud saturé en vapeur traverse de haut en bas l'intérieur des éléments cependant que du liquide à distiller, chaud de préférence, s'écoule uniformément le long de leurs parois extérieures ;

- au sortir de ces éléments, une séparation gaz/liquide est faite et le gaz est légèrement refroidi avant d'être introduit à la base des espaces séparant les éléments, de manière à lécher de bas en haut leurs parois extérieures ;
- le gaz sortant du haut de ces espaces de séparation barbote dans du liquide chaud et le circuit parcouru par ce gaz est ainsi bouclé ;
- le distillat est recueilli après séparation gaz/liquide ;
- le concentré est recueilli en bas des espaces séparant les éléments.

Grâce à ces dispositions, un premier procédé particulier de distillation à haut coefficient de performances est réalisé, qui est une extrapolation directe des concepts mis en œuvre dans le procédé décrit dans la demande de brevet international de J.P. DOMEN commentée ci-dessus. Dans ce nouveau procédé, les deux surfaces d'évaporation du procédé antérieur sont séparées et éloignées l'une de l'autre, au lieu d'appartenir à la même chambre d'évaporation. Cela permet de réaliser trois perfectionnements importants : (1) disposer de cloisons mitoyennes d'échange thermique de très grande surface totale (les parois de tous les éléments installés en parallèle), puisque les dimensions de la chaudière ne limitent plus la surface de ces cloisons, (2) pouvoir réduire au mieux l'épaisseur des couches d'air saturé qui circulent dans les espaces libres étroits, le long de ces parois d'échange thermique, et ainsi augmenter leur couplage et (3) pouvoir utiliser une chaudière conventionnelle aussi bien que solaire. En outre, ce premier procédé apporte deux avantages nouveaux : (1) une excellente transmission de la chaleur de condensation de la vapeur, à travers les parois minces des éléments d'échange thermique, grâce à des revêtements intérieur et extérieur adéquats, notamment hydrophiles ou mouillables, qui permettent des écoulements en couches minces sensiblement uniformes et relativement lents du liquide à distiller et du liquide distillé, de chaque côté de ces parois et donc un bon transfert de chaleur de l'un à l'autre, (2) le remplacement de la seconde chambre de condensation par tout dispositif d'échange thermique plus approprié, par exemple un serpentín immergé dans du liquide à la température extérieure.

Ce nouveau procédé présente toutefois l'inconvénient de devoir remplacer le ventilateur à faible consommation électrique, utilisé dans le procédé antérieur, par une turbine imposant une consommation électrique nettement supérieure. Cela, pour compenser les pertes de charge du courant d'air à pression et vitesse initiales relativement élevées, qui circule à vitesse localement augmentée dans les organes de connexion inévitablement étroits d'entrée et de sortie des différents éléments d'échange thermique plats utilisés. Par ailleurs, on notera la nécessité de disposer d'éléments d'échange thermique particuliers, comportant des revêtements intérieur et extérieur hydrophiles. Dans ces conditions, la complexité et le coût de fabrication de ces éléments particuliers seront notablement supérieurs à ceux des éléments standards qui seront définis ci-après. En dépit de ces divers inconvénients, l'intérêt de faire appel, dans certains cas particuliers, à ce premier procédé de distillation selon l'invention, apparaîtra plus loin.

Les deuxième et troisième procédés particuliers de distillation selon l'invention permettent de réduire notablement, voire même de supprimer totalement, tout besoin d'énergie mécanique, tout en conservant la plupart des avantages du premier procédé particulier défini ci-dessus.

Selon une deuxième caractéristique particulière du procédé général défini plus haut, l'évaporation du liquide à distiller est réalisée sur une ou des surfaces chaudes, opérant à une température non uniforme, installées dans une première chambre de traitement, et la condensation de vapeur, réalisée sur une ou des autres surfaces, opérant à une température non uniforme globalement plus froide que la ou les précéden-

tes, installées dans une seconde chambre de traitement communiquant avec la première par le haut et par le bas, les différentes zones des surfaces d'évaporation et de condensation étant localement maintenues aux températures requises, grâce à la circulation à contre-courant d'un fluide caloporteur le long de ces surfaces une source chaude étant disposée entre les extrémités les plus chaudes des surfaces d'évaporation et de condensation et une source froide, installée entre leurs extrémités les plus froides, les échanges thermiques entre la ou les surfaces chaudes et la ou les surfaces plus froides, étant assurés par la circulation en circuit fermé, selon un sens opposé à celui du fluide caloporteur, d'un gaz incondensable passant d'une chambre à l'autre, avec des pressions partielles de vapeur variables, les deux chambres demeurant à une pression totale uniforme sensiblement constante.

10 Selon une combinaison du procédé général défini plus haut et de sa deuxième caractéristique particulière, un deuxième procédé particulier de distillation à multiple effet est caractérisé en ce que :

- des éléments d'échange thermique, creux et plats, possédant au moins une paroi extérieure assurant un étalement sensiblement uniforme de tout liquide coulant sur elles, par gravité et/ou capillarité, sont disposés verticaux ou inclinés, dans deux chambres de traitement calorifugées, communiquant par le haut et par le bas, respectivement affectées à l'évaporation de liquide et à la condensation de vapeur, de telle manière que ces éléments y soient séparés deux à deux par un espace libre étroit, de largeur sensiblement constante, rempli d'un gaz incondensable ;
- un liquide caloporteur est chauffé dans une chaudière et amené à circuler, en circuit fermé, de haut en bas à l'intérieur des éléments de la chambre d'évaporation puis, après un léger refroidissement, de bas en haut à l'intérieur des éléments de la chambre de condensation et finalement il est ramené à la chaudière ;
- du liquide à distiller, chaud de préférence, est répandu en haut des parois extérieures des éléments de la chambre d'évaporation et s'écoule uniformément le long de ces parois ;
- un courant de gaz saturé en vapeur circule en circuit fermé entre les éléments d'échange thermique, de haut en bas de la chambre de condensation puis de bas en haut de la chambre d'évaporation ;
- 25 - un débit déterminé de liquide froid à distiller engendre continuellement le débit de liquide répandu sur les éléments d'échange thermique de la chambre d'évaporation ;
- le distillat est recueilli en un point bas de la chambre de condensation ;
- le concentré est recueilli en un point bas de la chambre d'évaporation.

30 Selon une troisième caractéristique particulière du procédé général défini plus haut, l'évaporation du liquide est réalisée sur une ou des surfaces chaudes, opérant à une température non uniforme, et la condensation de vapeur, réalisée sur une ou des autres surfaces, disposée(s) en regard de la ou des précédentes, opérant à une température non uniforme globalement plus froide, les différentes zones des surfaces d'évaporation et de condensation étant localement maintenues aux températures requises, grâce à la circulation à contre-courant d'un fluide caloporteur, une source chaude étant disposée entre les extrémités les plus chaudes des surfaces d'évaporation et de condensation et une source froide, installée entre leurs extrémités les plus froides, les différences de pressions partielles de vapeur saturante entre les différentes zones desdites surfaces étant assurées par la présence d'un gaz incondensable dans une chambre de traitement, à pression totale uniforme.

40 Selon une combinaison du procédé général défini plus haut et de sa troisième caractéristique particulière, un troisième procédé particulier de distillation à multiple effet, est caractérisé en ce que :

- des éléments d'échange thermique, creux et plats, possédant au moins une paroi extérieure adaptée à assurer un étalement sensiblement uniforme de tout liquide s'y écoulant, sont installés inclinés ou verticaux, dans une chambre de traitement calorifugée, de telle manière que ces éléments soient séparés deux à deux par un espace étroit, de largeur sensiblement constante, rempli d'un gaz incondensable ;
- 5 - les éléments sont répartis en deux groupes, respectivement affectés à l'évaporation de liquide et à la condensation de vapeur, chaque élément de condensation étant disposé entre deux éléments d'évaporation ;
- un liquide caloporteur est chauffé dans une chaudière et amené à circuler, en circuit fermé, de haut en bas à l'intérieur des éléments d'évaporation, puis après un léger refroidissement, de bas en haut à
- 10 l'intérieur des éléments de condensation et finalement il est ramené à la chaudière ;
- du liquide à distiller, chaud de préférence, est répandu en haut des parois extérieures des éléments d'évaporation et s'écoule uniformément le long de ces parois ;
- un débit déterminé de liquide froid à distiller engendre continuellement le débit de liquide répandu en haut des parois extérieures des éléments d'évaporation ;
- 15 - le distillat est recueilli en bas des parois des éléments de condensation ;
- le concentré est recueilli en bas des parois des éléments d'évaporation.

Selon une caractéristique complémentaire de ces deuxième et troisième procédés particuliers de distillation, le liquide caloporteur circulant en circuit fermé est le liquide à distiller et le liquide froid à distiller est ajouté au précédent, à l'endroit du circuit où celui-ci est le moins chaud.

- 20 Selon une autre caractéristique complémentaire de ces deux procédés particuliers, le liquide froid à distiller est préchauffé par un échange thermique avec le concentré et/ou le distillat.

- 25 Selon une autre caractéristique complémentaire de ces deux procédés particuliers, la chaudière est installée sous la (ou les) chambre(s) de traitement et la distance, entre la chaudière et la (ou les) chambre(s) de traitement, est suffisante pour permettre à la circulation du liquide caloporteur, d'être effectuée par thermosiphon.

- 30 Selon une caractéristique complémentaire de la précédente, appliquée à la production d'eau douce, la chaudière est un chauffe-eau solaire, avec ou sans accumulation, doté d'une surface d'absorption du rayonnement solaire et, le cas échéant, d'un réservoir associé, ladite surface étant alors surdimensionnée par rapport à la capacité de traitement des éléments de la chambre et le volume du réservoir très supérieur au volume intérieur total de ces éléments.

- 35 Grâce à ces dispositions, un deuxième procédé particulier de distillation à hautes performances est défini, qui diffère principalement du premier par la présence d'un circuit de liquide caloporteur intermédiaire entre une chambre de condensation et une chambre d'évaporation, toutes deux équipées d'éléments d'échanges thermiques appropriés. Ce qui permet de conserver un simple ventilateur pour faire circuler l'air entre les deux chambres mais peut imposer l'emploi d'une pompe, à consommation électrique comparable, pour faire circuler en circuit fermé ce liquide caloporteur, avec une vitesse relativement faible et une pression relativement constante. On notera toutefois que ce ventilateur peut lui-même être supprimé dans le cas où les ouvertures, haute et basse respectivement, de communication entre les deux chambres sont
- 40 suffisamment longues et larges, afin de permettre une circulation d'air par simple convection naturelle, entre deux chambres contenant de l'air à des températures différentes. Quant à la pompe de circulation du

liquide caloporteur, elle pourra elle aussi être supprimée, lorsque la chaudière est disposée sous la chambre de traitement, de manière à assurer elle-même une telle circulation, par thermosiphon. En outre, la chaudière ne doit produire que du liquide chaud, étant entendu cependant qu'une production de vapeur y est également possible mais, en général, sans intérêt particulier. Dans le cas où le liquide caloporteur est le liquide à distiller, on notera que le léger refroidissement, prévu pour être effectué entre les deux bas des éléments des deux chambres, peut être accompli par le liquide à distiller froid. Dans ce cas, une double fonction est alors réalisée: provoquer l'écoulement de liquide étalé sur les éléments d'évaporation et refroidir le mélange. Dans le cas où la température de ce liquide froid aura été augmentée par un échange thermique préalable avec le condensé ou le distillat, la température d'équilibre de l'appareil concerné sera relevée. Ce qui permettra, toutes choses égales par ailleurs, d'augmenter le coefficient de performance de cet appareil.

Le troisième procédé particulier de distillation selon l'invention est un perfectionnement intéressant du deuxième. En effet, dans ce troisième procédé, les éléments d'échange thermique respectivement affectés à une évaporation d'eau ou à une condensation de vapeur, ne sont plus installés dans deux chambres séparées isolées l'une de l'autre, respectivement dédiées à ces deux fonctions, mais au contraire dans une chambre de traitement unique, dans laquelle les éléments de condensation sont installés entre deux éléments d'évaporation. Ce qui rend inutile l'utilisation d'un ventilateur pour faire circuler un courant d'air chaud saturé entre les éléments de condensation et d'évaporation, puisque de la vapeur d'eau est produite de haut en bas d'une surface d'évaporation, disposée à très courte distance d'une surface de condensation, ayant à tout niveau quelques degrés de moins. De ce fait, la vapeur produite à chaque niveau se transporte en face, par le seul effet de la diffusion naturelle à travers une mince lame d'air chaud saturé, à pression ambiante.

Les avantages de ces deuxième et troisième procédés particuliers de distillation selon l'invention sont particulièrement intéressants lorsque la chaudière est un chauffe-eau solaire à accumulation, surdimensionné par rapport à la capacité de traitement instantané des éléments d'échange thermique mis en œuvre. Dans ce cas, une accumulation d'eau de mer chaude est réalisée dans le réservoir pendant les six heures de grand soleil d'une journée, ce qui permet à un alambic selon l'invention, comprenant une (ou deux) chambre(s) de traitement à capacité opérationnelle limitée, de fonctionner jour et nuit et à sa production journalière d'eau douce d'être plus que triplée.

On notera cependant que le premier procédé particulier de distillation selon l'invention présente, par rapport aux deux autres, l'avantage de faire appel, pour une production journalière donnée, à deux fois moins de surface d'échanges thermiques. Cela, parce que, contrairement aux deux autres procédés, chaque élément d'échange thermique possède une double fonction, à savoir : condensation de vapeur sur ses parois intérieures et évaporation de liquide sur ses parois extérieures. Ce qui peut largement compenser les inconvénients qu'il présente par ailleurs.

Si l'on compare les trois procédés de distillation selon l'invention au procédé MSF visé plus haut, lequel comporte une succession de plusieurs chambres opérant à des niveaux de température et de pression de vapeur saturante décroissant par paliers, on constate que ces différentes chambres sont ici remplacées par les différentes tranches horizontales des espaces de séparation des éléments d'échange thermique concernés. Dans la chambre de traitement des premier et troisième procédés selon l'invention, la pression totale régnante est la pression atmosphérique et la température des tranches des espaces de

séparation concernés décroît d'une manière continue depuis le haut jusqu'en bas des éléments d'échange thermique. Il en résulte, entre ces tranches, une diminution continue de pression partielle de vapeur saturante, dont la stabilité est assurée par une présence en quantité croissante d'un gaz incondensable (de l'air généralement). La présence de cet air dans la chambre de traitement des deux procédés de distillation selon l'invention (alors que cet air est continuellement évacué dans les chambres successives des installations MSF), est utilisée comme un moyen de faire varier la pression partielle de vapeur d'eau le long des parois d'échangeurs thermiques à contre-courant, lesquelles parois connaissent ainsi sur toute leur longueur, une double variation continue appropriée de températures. Des considérations semblables s'appliquent aux deux chambres du second procédé selon l'invention.

Dans les trois procédés de distillation selon l'invention, les résultats de la distillation sont tout à fait semblables. L'amplitude des résultats fournis par ces procédés est une fonction relativement complexe de nombreux paramètres et notamment (1) de la température de l'air chaud saturé introduit dans les éléments ou du liquide chaud entrant dans les éléments d'évaporation, (2) des différences absolues de températures existant entre l'amont et l'aval des éléments, (3) du rapport entre la surface totale des éléments et la puissance thermique utilisée de la chaudière, (4) du débit du liquide chaud répandu, par unité de surface des éléments d'évaporation, (5) du débit du liquide et/ou de l'air circulant par unité de surface des différents éléments, (6) de la largeur des espaces remplis de gaz incondensable séparant ces éléments, (7) de la baisse de température créée au cours du refroidissement, (8) de l'accroissement de température du liquide et/ou de l'air, engendré par la chaudière et, finalement, (9) du coefficient de couplage thermique avec l'extérieur, des chambres de traitement et des canalisations concernées.

Les valeurs de plusieurs de ces différents paramètres dépendent les unes des autres, dans le cadre de relations relativement complexes. A cet égard, on notera, par exemple, que l'écart entre l'accroissement de température produit par la chaudière et la chute de température engendrée par l'organe de refroidissement, est directement déterminé par la valeur plus ou moins grande des pertes thermiques de l'ensemble ainsi constitué. Cela veut dire que cet écart (aisément mesurable) est représentatif du coefficient de couplage thermique (relativement difficile à mesurer ou calculer) du système avec l'extérieur ainsi que du facteur d'efficacité des éléments d'échange thermique utilisés. C'est pourquoi les valeurs optimales des paramètres indépendants et non imposés de tout alambic, construit selon l'un des procédés de distillation de l'invention, seront déterminées à partir de données expérimentales et d'une modélisation mathématique du système thermodynamique ainsi constitué.

Lorsqu'il est correctement optimisé, compte-tenu des valeurs imposées de certains paramètres, un appareil de distillation d'eau de mer, qui met en œuvre l'un ou l'autre des trois procédés selon l'invention, peut produire de dix à cinquante litres d'eau douce par kWh thermique consommé, c'est-à-dire de sept à trente cinq fois environ le volume d'eau évaporé par cette même énergie. Les procédés de distillation selon l'invention réalisent, à l'évidence, un recyclage exceptionnellement efficace de la chaleur latente de condensation de la vapeur.

Pour une mise en œuvre efficace des différents procédés de distillation définis ci-dessus, des éléments d'échange thermique appropriés sont nécessaires.

Selon l'invention, un tel élément d'échange thermique est caractérisé en ce qu'il est creux et plat et qu'au moins l'une de ses parois extérieures est pourvue de moyens pour efficacement étaler l'écoulement,

par gravité et/ou capillarité, d'un liquide répandu sur cette paroi, laquelle peut être sensiblement plane ou cylindrique.

Selon une caractéristique complémentaire d'un tel élément d'échange thermique, lesdits moyens d'étalement de l'écoulement sont constitués soit par un aggloméré ou un tissu perméable, hydrophile ou mouillable, soit par des gouttières parallèles peu profondes, étroites ou larges, destinées à être disposées à l'horizontale.

Selon d'autres caractéristiques complémentaires, un tel élément est mécaniquement stable en présence de liquides relativement chauds de moins de 100°C et il constitue un ensemble de conduits longs juxtaposés, à parois extérieures conduisant bien la chaleur, ledit ensemble étant pourvu (1) de raccords amont et aval, débouchant sur des organes de connexion, (2) de moyens de mise en place adaptés à permettre de disposer lesdits conduits à la verticale ou selon tout angle d'inclinaison approprié, et (3) de renforts latéraux rigides, notamment adaptés à déterminer le pas d'assemblage d'éléments juxtaposés.

Selon une première forme de réalisation, un tel élément est une nappe souple rectangulaire, regroupant de nombreux conduits étroits, constitués entre des lignes de soudure longitudinales parallèles, réalisées entre deux membranes polymères, comportant, au moins du côté extérieur, un revêtement hydrophile collé ou soudé, et lesdits raccords sont formés par deux lignes de soudure transversales, réalisées en amont et en aval desdits conduits.

Selon une deuxième forme de réalisation, un tel élément est un panneau rectangulaire alvéolaire rigide, pourvu d'un revêtement extérieur hydrophile ou mouillable, collé ou soudé, et chacun de ses raccords amont et aval forme une sorte de coiffe plate allongée, à parois minces, ladite coiffe étant engagée et fixée étanche sur les extrémités de ce panneau.

Selon une troisième forme de réalisation, un tel élément est un panneau rectangulaire rigide, creux et plat, possédant des parois extérieures bonnes conductrices de la chaleur, pourvues de gouttières parallèles peu profondes, transversalement disposées, ces gouttières étant soit étroites quand cet élément doit être installé à la verticale soit larges quand il doit être disposé suivant un plan légèrement incliné.

A titre d'exemples, dans un élément d'échange thermique selon l'invention, (1) un tel aggloméré perméable sera un non-tissé ou un feutre hydrophile de cellulose ou encore une feuille mouillable de poudre frittée poreuse, (2) un tel tissu perméable sera réalisé en coton hydrophile ou en fils imperméables mouillables et (3) de telles parois pourvues de gouttières seront en métal ou en plastique dur extrudé ou encore en plastique thermo-formé. On notera que des parois à gouttières, relativement faciles à nettoyer, seront de préférence utilisées lorsque le liquide à distiller aura tendance à produire du tartre.

Grâce à ces dispositions, de tels éléments d'échange thermique deviennent tout à fait appropriés à une mise en œuvre efficace des procédés de distillation selon l'invention. En effet, la circulation d'un courant de liquide chaud dans un tel élément creux et plat, incliné ou vertical, permet de fournir, avec peu de pertes à travers sa paroi bonne conductrice de la chaleur, une quantité de chaleur suffisante pour continuellement assurer une évaporation d'une partie importante de tout liquide généralement chaud s'écoulant sur cette paroi, en couches minces et d'une manière sensiblement uniforme, par gravité et/ou capillarité (par opposition à un ruissellement qui s'effectue généralement en plusieurs coulées séparées, d'épaisseur variable). Le processus inverse existe également. En effet, lorsque de l'air chaud saturé en vapeur entoure un tel élément vertical ou incliné et que celui-ci est traversé de bas en haut par un liquide moins chaud, une condensation de vapeur s'effectue sur les parois de cet élément. Et ce phénomène a

pour conséquence la transmission, dans d'excellentes conditions, de la chaleur de condensation de cette vapeur audit liquide, lequel se réchauffe au fur et à mesure qu'il monte et que le distillat descend lentement en couche mince, par capillarité et gravité, dans un revêtement hydrophile ou mouillable ou d'une gouttière à l'autre. En conséquence, ce type d'éléments d'échange thermique selon l'invention peut, en oubliant les augmentations d'entropie concernées, être qualifié d'élément d'échange thermique quasi réversible.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront d'une manière plus précise à la suite de la description ci-après de différentes formes de réalisation d'éléments d'échange thermique et d'appareils de distillation perfectionnés faisant usage de ces éléments, lesquelles formes sont données à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente une vue de face schématique d'un élément d'échange thermique souple selon l'invention ;
- la figure 2 représente une vue en coupe transversale de cet élément souple;
- la figure 3 représente une vue en bout de deux éléments souples installés juxtaposés, dans une chambre de traitement ;
- la figure 4 représente une vue en coupe longitudinale d'un élément d'échange thermique souple ;
- la figure 5 représente une vue de face schématique d'un élément d'échange thermique rigide selon l'invention ;
- la figure 6 représente une vue en coupe longitudinale de cet élément rigide;
- la figure 7 représente une vue en coupe longitudinale partielle d'un élément d'échange thermique pourvu de gouttières étroites;
- la figure 8 représente, sous une forme schématique, un appareil de distillation de l'eau de mer chaude rejetée par un moteur marin, qui met en œuvre le premier procédé selon l'invention ;
- la figure 9 représente, sous une forme schématique, un appareil de distillation d'eau de mer à chaudière conventionnelle, mettant en œuvre le deuxième procédé selon l'invention ;
- la figure 10 représente, en perspective simplifiée, un appareil de distillation d'eau de mer, équipé d'une chaudière solaire à accumulation, mettant en œuvre le troisième procédé selon l'invention.

Selon la figure 1 et la figure 2, laquelle est une vue en coupe selon la ligne A-A' de la figure 1, un premier type d'élément d'échange thermique 10 comprend essentiellement une nappe souple 12, pourvue de renforts latéraux rigides 14 a-b, en plastique moulé. La nappe 12 est réalisée à partir d'une membrane fine 13, en plastique alimentaire, par exemple en polyéthylène de 100 μ m d'épaisseur, et elle comporte un revêtement hydrophile soudé 15, constitué par un non-tissé de cellulose d'épaisseur comparable. Pour réaliser la nappe 12, la membrane retenue est tout d'abord pliée en deux, le revêtement 15 étant placé à l'extérieur, puis soumise à une ou plusieurs opérations de soudure, de manière à constituer un grand nombre de lignes de soudure longitudinales parallèles 16₁...16_n. Les lignes d'extrémité 16₁ et 16_n ont environ 30 mm de large et s'étendent sur toute la longueur de la nappe 12. Les autres lignes ont de 2 à 3 mm de large, elles sont séparées les unes des autres par des intervalles de 15 à 20 mm et sont distantes des extrémités de la nappe d'environ 15 cm. Dans une nappe 12 donnée, le nombre de conduits 18₁...18_{n-1} ainsi constitués peut atteindre une cinquantaine, la largeur de la nappe 12 pouvant, quant à elle, varier de 60 à 120 cm et sa longueur de 80 à 180 cm, en fonction de l'application envisagée. Au voisinage de la

pliure de la membrane, une ligne de soudure transversale et légèrement oblique 20 est réalisée et, un peu au-dessus de cette ligne 20, deux découpes latérales, de largeur un peu supérieure à la largeur des renforts latéraux 14 a-b, sont pratiquées dans les prolongements des lignes de soudure d'extrémité 16₁ et 16_n. De la sorte, un fourreau 22 est réalisé qui aura, par exemple, 50 mm de large à une extrémité et 80 mm à l'autre. Dans ce fourreau 22, peut être engagée une tringle plate 24, à bords arrondis, de 40 mm de large et de 4 mm d'épaisseur, destinée à assurer la suspension verticale de l'élément 10. La ligne de soudure transversale 20 rejoint les lignes d'extrémité 16₁ et 16_n, de manière à délimiter un raccord plat 26, en forme de trapèze, mesurant 20 mm au-dessus du conduit 18₁ et 50 mm au-dessus de 18_{n-1}. Au-dessus de la ligne 16_n, débouche un tube de connexion 28, fixé d'une manière étanche à l'extrémité large du raccord 26, qui mesure au plus 12 mm de diamètre extérieur et environ 60 mm de long. Un raccord 30, symétrique du raccord 26, est réalisé à l'extrémité inférieure des conduits 18₁...18_{n-1} et ce raccord 30 est relié à un tube de connexion 32, diagonalement opposé mais identique au précédent. Les renforts latéraux rigides 14 a-b incorporent les lignes larges de soudure d'extrémité 16₁.

Selon la figure 2, les conduits 18₁...18_{n-1}, délimités par la membrane 13 et son revêtement 15, apparaissent légèrement gonflés, chacun ayant la forme de deux arcs de cercle, présentant un écart maximal de 4 mm, réunis par une ligne de soudure 16₂...16_{n-1}. A la suite de ce gonflement, la largeur initiale de la nappe 12 est diminuée de 5% environ. Deux trous 34 a-b et 36 a-b, pratiqués dans chacun des renforts 14 a-b, sont destinés à être traversés par deux paires de tiges de serrage, solidaires d'un bâti approprié (non représentés), qui permettront aux différents éléments 10, assemblés dans une chambre de traitement, d'être correctement disposés. La distance entre deux tiges de serrage, fixées au même niveau sur le bâti intérieur d'une chambre de traitement, sera égale à la largeur initiale de la nappe, diminuée des 5% visés plus haut.

La figure 3 représente une vue en bout, selon la flèche B, des renforts latéraux rigides 14a et 14b de deux éléments 10 d'échange thermique en nappe souple, juxtaposés de façon que leurs tubes de connexion 28 et 32 aient des positions inverses, pour leur permettre d'empiéter sur l'élément voisin. Chaque renfort 14a et 14b déborde vers le haut le raccord 26, pour former une fourche à deux branches 38 a-b. Au niveau de chaque raccord 26 et 30 des conduits de la nappe 12, les renforts 14a et 14b présentent de chaque côté deux découpes latérales 40 a-b et 42 a-b. A titre d'exemples, l'épaisseur de chaque renfort 14a ou 14b sera de 7 mm, sa largeur de 40 mm, l'épaisseur des branches 38 a-b de la fourche de 1,5 mm, l'écartement de ces branches de 4 mm, leur hauteur de 44 mm, la profondeur des découpes 40 a-b et 42 a-b, de 1,65 mm et leur hauteur de 60 mm. Le support formé par les branches 38 a-b est destiné à recevoir en appui l'une des extrémités de la tringle de suspension 24. Chaque paire de découpes 40 a-b et 42 a-b des renforts latéraux 14 a-b de deux éléments 10 juxtaposés, est destinée à servir de logement à l'une des extrémités de deux plaques intercalaires 44 a-b, en plastique alvéolaire, de 3,3 mm d'épaisseur, de 60 mm de large et de longueur égale à celle de la tringle 24. Les renforts 14 a-b débordent vers le bas le raccord 30, pour respectivement former les deux pieds 46 a-b de l'élément d'échange thermique 10, ces pieds 46 a-b étant destinés à reposer sur le fond de la (ou des) chambre(s) de traitement de l'alambic. Un peu au-dessus des pieds 46 a-b, débouchent respectivement le tube de connexion 32 et un tuyau d'évacuation 56 qui sera présenté ci-après.

Selon la figure 4, qui est une vue en coupe selon la ligne C-C' de la nappe 12 (avec écartement latéral des différents composants, pour en faciliter la représentation), la ligne 16 représente une ligne de soudure

et les traits 48 a-b, les parois composites (membrane plastique intérieure et revêtement hydrophile extérieur) d'un conduit 18. Au-dessus de la ligne 16, apparaissent le raccord 26, la ligne de soudure transversale 20, le fourreau 22 et la tringle de suspension 24. Au-dessus et tout le long de la tringle 24, sont disposés un tuyau 50 de 4 mm de large, bouché à son extrémité libre et percé d'un trou de 1 mm de diamètre tous les 10 cm, ainsi qu'une cape 52 en matériau composite (revêtement hydrophile intérieur et membrane plastique extérieure) qui enveloppe le tuyau 50, la tringle 24 et le raccord 26 et qui descend sur les premiers centimètres du conduit 18. De même, à la base de la nappe 12, est disposé un chausson 54, semblable à la cape 52 et installé comme elle, de manière à envelopper le raccord 30 et les derniers centimètres du conduit 18. Le chausson 54 présente une légère pente, terminée par un tuyau d'évacuation 56, fixé étanche, qui débouche au-dessus du pied 46b du renfort latéral rigide 14b (voir fig.1). Les deux plaques 44 a-b ou 58 a-b, en plastique alvéolaire, sont pressées dans leur logement, par les renforts latéraux 14 a-b des deux éléments qui entourent l'élément 10 représenté. En conséquence, les raccords 26 et 30 qui, gonflés, auraient débordé l'espace qui leur est affecté, sont resserrés et, dans le cas de l'exemple présenté plus haut, ramenés à une épaisseur de 3,7 mm. De plus, la cape 52, qui applique son revêtement hydrophile intérieur sur le revêtement hydrophile extérieur de la nappe 12, coopère avec le tuyau 50, affecté à l'alimentation en eau à distiller, pour répartir cette eau d'une manière uniforme, par capillarité et gravité, dans le revêtement hydrophile de cette nappe. Dans ces conditions, un espace libre de 3,3 mm d'épaisseur moyenne est aménagé entre les nappes souples 12 de deux éléments 10 juxtaposés. Cet espace libre se prolonge en haut et en bas des éléments 10, par les alvéoles transversales (carré de 3 mm de côté) des plaques 44 a-b et 58 a-b, assurant ainsi un espace libre ouvert de largeur appropriée entre deux éléments 10 juxtaposés.

Selon la figure 5 et la figure 6 qui représente une vue en coupe selon la ligne D-D' de la figure 5, un second élément d'échange thermique selon l'invention est représenté. La figure 5 est une vue schématique d'un élément d'échange thermique rigide 60, réalisé à partir d'un panneau alvéolaire 61, en plastique alimentaire, par exemple en polypropylène, d'un type disponible dans le commerce, notamment pour constituer des supports d'affichage. A titre d'exemple, un tel panneau 61 mesure 60 cm de large et 80 cm de long et comporte environ 180 alvéoles longitudinales telles 62₁...62_n, à section interne carrée de 3 mm de côté, délimitées par des cloisons étroites 64₁...64_{n+1} et des faces 65 a-b (voir fig.6), ayant 0,15 mm d'épaisseur. Les extrémités hautes et basses du panneau 61 sont engagées et soudées étanches dans deux coiffes plates allongées identiques 66 et 67, symétriquement disposées, réalisées en un plastique identique à celui du panneau 61. Chaque coiffe 66-67 comporte deux renforts latéraux 68 a-b et 69 a-b, épais de 7 mm, larges de 20 mm et hauts de 80 mm. Dans la partie centrale des coiffes 66 et 67 deux collecteurs plats de forme trapézoïdale 72 ou 73, débouchent sur deux tubes de connexion 74 ou 75, diagonalement opposés. Les renforts 68 a-b et 69 a-b comportent, d'une part, des prolongements 76 a et 77 a, percés d'un trou 76 c et 77 c, et d'autre part des prolongements 76 b et 77 b, les prolongements 77 a-b servant de pieds à l'élément 60. En outre deux paires de trous 78 a-b et 79 a-b, destinés à être traversés par les deux paires de tiges de serrage d'éléments 60, installés dans une chambre de traitement. Enfin, les renforts 68 a-b et 69 a-b sont munis de chaque côté, de languettes en U, 80 a-b et 81 a-b, adaptées à faciliter la mise en place des plaques intercalaires 82 et 83 de la figure 6.

Sur cette figure 6, apparaissent une alvéole 62 et ses deux faces extérieures 65 a-b, engagées dans leurs coiffes d'extrémité 66 et 67. Les faces 65 a-b des alvéoles du panneau 61, ainsi que les parois

externes des coiffes 66 et 67, comportent un revêtement hydrophile collé 84, représenté en pointillé. Un tuyau 86, identique au tuyau 50 des figures 3-4, destiné à l'alimentation en eau de mer de l'élément 60, traverse le trou 76c du prolongement 76a, court au-dessus de la coiffe 66 et s'arrête bouché, sensiblement au bout de la coiffe 66. Une cape 88, identique à celle 52 de la fig.4, recouvre ce tuyau 86 et la partie de la coiffe 66 comprise entre les prolongements 76 a-b et descend jusqu'au panneau 61. De même, un chausson 90, identique à celui 54 de la figure 4, est installé entre les pieds 77 a-b de l'élément 60, il démarre du bas du panneau 61 et termine, en pente légère, sous un conduit d'évacuation 92, inséré dans le trou 77c du pied 77a de l'élément 60. Sur les languettes en U, 80 a-b et 81 a-b, de chacun des renforts 68 a-b et 69 a-b de deux éléments 60 juxtaposés, sont engagées les alvéoles d'extrémité de deux paires de plaques intercalaires 82 a-b et 83 a-b, de 60 mm de large, réalisées à partir d'un panneau identique au panneau 61. De la sorte, les revêtements intérieurs hydrophiles de la cape 88 et du chausson 90 sont pressés sur les revêtements extérieurs hydrophiles 65 a-b du panneau 61 et des coiffes 66 et 67. Dans ces conditions, la cape 88 assure, par capillarité et gravité, une bonne distribution dans ces revêtements extérieurs, de l'eau à distiller apportée par la gouttière 86. Quant au chausson 90, suivant qu'il est installé sur des plaques d'évaporation ou de condensation, il assure une bonne collecte de la saumure ou de l'eau distillée qui s'écoule de ces mêmes revêtements. En outre, ces paires de plaques intercalaires 82 a-b et 83 a-b établissent entre deux éléments 60 juxtaposés, assemblés dans une chambre de traitement, un espace libre ouvert approprié, ayant dans le cas présent 3,3 mm de large.

Les figures 7a, 7b représentent des vues en coupe longitudinale partielle d'un élément d'échange thermique vertical 94a et légèrement incliné 94b. Ils sont rectangulaires, creux et plats, avec des alvéoles intérieures 96 a-b et deux parois 95 pourvues de gouttières étroites 97 pour l'un et d'une seule 95a pourvue de gouttières larges 98, disposées en cascade, pour l'autre. La planéité de ces parois est assurée par la présence d'entretoises intérieures espacées de quelques décimètres. La surface de ces éléments pourra être relativement grande, par exemple supérieure à un mètre carré. La largeur des gouttières sera de quelques millimètres pour les étroites et d'environ un décimètre pour les larges, leur profondeur sera de quelques millimètres et l'intervalle de séparation des étroites sera de quelques centimètres. Une gouttière d'alimentation en liquide à distiller, identique aux gouttières 50 et 86 des figures 4 et 6, sera installée au-dessus de ces éléments, mais aucune cape de répartition d'écoulement ne sera nécessaire. Des gouttières appropriées seront prévues pour recueillir le condensé. Ces éléments pourront être réalisés à partir de plaques métalliques ou de plastique dur, réalisées par extrusion, pourvues de gouttières étroites ou larges. Elles seront assemblées au moyen de bordures appropriées et d'entretoises. Une autre manière de réaliser un tel élément d'échange thermique à gouttières étroites sera de faire appel aux techniques de fabrication de corps creux, en plastique thermo-formé.

La figure 8 représente schématiquement un appareil de distillation 100 pour la mise en œuvre du premier procédé de distillation à hautes performances selon l'invention. Cet appareil 100 comprend un réservoir calorifugé 101, contenant de l'eau chaude et de la vapeur. Il est alimenté par un conduit pourvu d'une vanne de réglage de débit 99, véhiculant 2 m³/heure d'eau de mer chaude à 95°C, rejetée par le moteur marin non représenté d'une petite centrale électrique du littoral, qui réalise ainsi une co-génération électricité et eau douce. Ce réservoir 101 est installé au-dessus d'une chambre de traitement 102, en forme de cuve à fond rectangulaire de 150 x 350 cm, haute de 170 cm. La chambre de traitement 102 possède des parois épaisses 107, à haute isolation thermique, et elle contient un bâti (non représenté), sur

lequel sont installés et fixés par leurs tiges d'assemblage (non représentées) quatre cents éléments d'échange thermique, de 100 cm de large et de 120 cm de haut, tels 104 a...g. Ces éléments sont du genre à nappe souple représenté à la figure 1, mais ils en diffèrent par le fait qu'ils comportent en plus un revêtement hydrophile intérieur 104" a...g, identique à leur revêtement hydrophile extérieur usuel 104' a...g, tous deux représentés en pointillés. Ces éléments sont séparés les uns des autres par des plaques alvéolaires intercalaires épaisses de 3,3 mm (non représentées), référencées 44 a-b et 58 a-b sur les figures 3 et 4. Ils sont assemblés et juxtaposés comme indiqué plus haut, par deux paires de tiges d'assemblage traversant leurs renforts latéraux rigides, de façon à créer des espaces libres 106 a...h, ouverts de haut en bas. Sur la tranche supérieure de chaque élément 104 a...g, sont disposés (mais non représentées ici) le tuyau 50 et la cape 52 de la figure 4, ce tuyau étant raccordé à un conduit 112, alimenté par de l'eau de mer chaude 114, contenue dans le réservoir 101.

La partie supérieure du réservoir 101 est remplie d'air chaud 118, saturé en vapeur d'eau. Une turbine 120, raccordée à cette partie supérieure, est connectée par un tuyau 122, d'environ 20 cm de diamètre, à un collecteur 124, relié aux tubes de connexion des raccords hauts 105 a...g des éléments d'échange thermique 104 a...g. Dans le cas d'un débit d'eau chaude de 2 m³/h, cette turbine 120 engendre un débit d'air de 0,4m³/sec à une vitesse d'environ 15 m/sec et sous une pression de 3 hectopascals. L'air chaud saturé en vapeur, ainsi injecté dans les conduits de ces éléments, les traverse de haut en bas, à vitesse relativement élevée. Un collecteur aval 126, relié aux tubes de connexion des raccords bas 103 a...g des éléments 104 a...g, est connecté à l'entrée d'un ballon de ségrégation air/eau 128. L'entrée basse d'un serpentin vertical 130, immergé dans l'eau d'un ballon de refroidissement 132, est connectée à la partie haute du ballon de ségrégation air/eau. Le ballon 132 comporte une entrée haute, alimentée en eau de mer à la température extérieure (25° environ) par un conduit 134, pourvu d'une vanne 135 de réglage de débit. Le ballon 132 comporte une sortie basse 133 d'évacuation d'eau de mer tiède (40°C environ). La sortie haute du serpentin 130 est reliée, par un conduit 136, à un collecteur 137 connecté à plusieurs entrées basses, telles 138 a...h, débordant un peu du fond de la chambre de traitement 102. L'air asséché et refroidi ainsi injecté dans la chambre 102 est à une température de 40°C environ. Cette chambre 102 comporte plusieurs sorties hautes, telles 140 a...h, reliées à un collecteur 142, dont l'extrémité supérieure 143 plonge dans l'eau 114 du réservoir 100. Le ballon de ségrégation 128 comporte, en un point bas, un tuyau 146 d'évacuation de l'eau douce condensée dans les alvéoles 104 a...g et dans le serpentin 130. La chambre de traitement 102 comporte, en un point bas, un tuyau 148 d'évacuation de la saumure.

La figure 9 représente sous une forme schématique un appareil de distillation 150, réalisé selon le deuxième procédé de l'invention. Cet appareil 150 comprend deux chambres de traitement 152 et 154, pourvues de parois épaisses 153-155, à haute isolation thermique, séparées par une cloison mitoyenne isolante 156. Ces chambres 152-154 sont respectivement affectées à une condensation de vapeur et à une évaporation d'eau. L'ensemble, formé par ces deux chambres contiguës, constitue une cuve à fond rectangulaire de 60 x 80 cm, haute de 120 cm. La chambre de condensation 152 contient une quinzaine d'éléments d'échange thermique "froids", tels 158 a,b,c, qui mesurent 60 cm de large et 80 cm de haut et sont pourvus de renforts latéraux de 7 mm d'épaisseur. Ces éléments sont dotés de revêtements hydrophiles (représentés en pointillés, et non référencés) et ils comportent soit des nappes souples conformes aux figures 1, 2 et 3 soit des panneaux alvéolaires rigides, du genre décrit aux figures 5 et 6. La chambre d'évaporation 154 contient également quinze éléments d'échange thermique identiques aux

précédents, tels 160 a,b,c, mais ces derniers sont chauds et ils diffèrent des panneaux froids 158 a,b,c par le fait qu'ils sont pourvus, sur leur partie supérieure, de capes 162 a...f d'étalement d'eau chaude, recouvrant le haut des revêtements hydrophiles. Ces capes recouvrent des gouttières, telles 164 a...f, d'alimentation en eau de mer (cf. le tuyau 86 et la cape 88 de la fig.6), connectées au conduit de sortie 166 d'une chaudière d'une puissance thermique de 1 kW, qui comporte un réservoir 168 rempli d'eau de mer chauffée à environ 95°C. Les éléments d'échange thermique 158 a,b,c et 160 a,b,c sont séparés les uns des autres par des espaces libres 170 a...d et 172 a...d, de 3,3 mm de large (cf. fig.6).

Les parties hautes des espaces libres 170 a...d et 172 a...d, communiquent entre elles à travers un passage 174 relativement large, aménagé dans toute la partie supérieure de la cloison mitoyenne 156 séparant les chambres de condensation 152 et d'évaporation 154. Les parties basses des espaces libres 170 a...d et 172 a...d communiquent également entre elles, à travers un passage circulaire, aménagé dans la partie inférieure de la cloison 156, dans lequel est installé un ventilateur 176. Ce ventilateur 176 est adapté à faire entrer dans la chambre d'évaporation 154 un courant d'air, asséché et refroidi venant de la chambre de condensation 152, et ainsi faire circuler en circuit fermé un courant d'air dans ces deux chambres. Le débit du ventilateur 176 est, dans le cas d'une chaudière de 1 kW, d'environ 80 litres/sec et la vitesse de l'air soufflé entre les éléments, d'environ 40 cm/sec.

Les tubes de connexion des raccords hauts 159 a,b,c des éléments d'échange thermique froids 158 a,b,c de la chambre de condensation 152, sont reliés à un collecteur 178, connecté à un conduit 180 qui traverse la partie supérieure horizontale de la paroi 153 et aboutit à l'entrée du réservoir 168. Le conduit de sortie 166 de ce réservoir 168 traverse la partie supérieure horizontale de la paroi 155 de la chambre d'évaporation 154 et aboutit à un collecteur 182, auquel sont reliés les tubes de connexion des raccords hauts 161 a,b,c des éléments d'échange thermique chauds 160 a,b,c. Les tubes de connexion des raccords bas des éléments chauds 160 a,b,c sont reliés à un collecteur 184 connecté à un conduit 186 qui traverse la partie inférieure de la paroi 155 de la chambre 154 et aboutit à l'entrée d'une pompe 188. Cette pompe 188 alimente un organe de refroidissement 190, exposé à l'air ambiant et disposé à l'ombre, qui débouche sur un conduit 192 traversant la paroi inférieure 153 de la chambre de condensation 152 et aboutit au collecteur bas 193 des éléments froids 158 a,b,c de cette chambre 152. Sous l'action de la pompe 188, l'eau circule à une vitesse de 1 à 2 mm/sec dans les alvéoles des éléments d'échange thermique. Au conduit 190, est connectée l'extrémité basse d'une colonne 194, ouverte à l'air libre un peu au-dessus du réservoir 168 et pourvue d'une vanne 196 de réglage de débit. Cette colonne 194, alimentée en eau de mer à la température extérieure, et cette vanne 196 sont adaptées à ajouter, à l'eau de mer qui circule en circuit fermé dans les éléments d'échange thermique 158 a,b,c et 160 a,b,c des deux chambres 152 et 154, un débit donné d'eau de mer à la température extérieure, ajusté en fonction des valeurs optimales des paramètres de fonctionnement de l'appareil, (soit environ 10% du débit de la pompe 188). Un conduit 198, assurant l'évacuation de l'eau douce produite, traverse une paroi latérale de la chambre de condensation 152, au niveau du fond de cette chambre. Un autre conduit 200, assurant l'évacuation de la saumure, traverse une paroi latérale de la chambre d'évaporation 154, au niveau du fond de cette chambre.

L'organe de refroidissement 190 est un radiateur 191, disposé à l'ombre, qui peut être réalisé à partir d'une feuille de polyéthylène, pourvue de lignes de soudure intérieures et d'un revêtement hydrophile extérieur, constamment humidifié par de l'eau de mer. Cet organe, qui a pour objet d'abaisser de quelques

degrés (3 à 7°C, généralement) la température de l'eau de mer qui le traverse, a une surface dépendant de la valeur de la température du point de rosée de l'air ambiant. A titre indicatif, dans le désert, cette dernière température est proche de 15°C, dans les régions sèches du littoral, elle approche 23°C et dans les régions chaudes et humides, elle s'élève jusqu'à 30°C.

5 La figure 10 représente le schéma d'un appareil domestique de distillation d'eau de mer 220, réalisé selon le troisième procédé de l'invention. L'appareil 220 comprend, à titre d'exemple non limitatif, une chaudière solaire à accumulation 222, installée sous une chambre de traitement calorifugée 223 (schématiquement représentée en pointillés), à fond rectangulaire de 80 x 60 cm et de 120 cm de haut.. Dans cette chambre, sont disposés vingt cinq éléments d'échange thermique de 60 cm de large et de 80
10 cm de haut, pourvus de renforts latéraux épais de 7 mm, de l'un des genres décrits aux figures 1 à 4 ou 5-6. Ces éléments sont répartis en un premier et un second groupe, respectivement affectés à l'évaporation d'eau et à la condensation de vapeur. En accord avec les figures 4 ou 6 (mais sans report sur la figure 10), les treize éléments d'évaporation, tels 224 a,b,c, sont pourvus d'une gouttière 50 ou 86 d'alimentation en eau de mer, d'une cape 52 ou 88 de répartition de cette eau et d'un chausson 54 ou 90 de collecte de la
15 saumure. Quant aux douze éléments de condensation, tels 226 a,b, ils sont seulement pourvus d'un chausson 54 ou 90 de collecte de l'eau distillée produite. Chaque élément de condensation est intercalé entre deux éléments d'évaporation, avec un écart de 3,3 mm, grâce aux renforts latéraux 14 a-b et à la présence de plaques intercalaires, telles 44 a-b de la fig. 5 (non représentées ici). L'ensemble de ces éléments d'échange thermique est en principe adapté à traiter de l'eau de mer chaude à température
20 variant de 60 à 75°C, délivrée par une chaudière, ayant une puissance thermique d'environ 400 W. En fait, le nombre et les dimensions des éléments visés plus haut sont approximatifs, des essais systématiques seront nécessaires pour leur donner des valeurs optimales afin de coupler au mieux, chambre de traitement et chaudière solaire ou conventionnelle.

Les différents tuyaux d'alimentation en eau de mer chaude des revêtements hydrophiles des éléments
25 d'évaporation 224 a,b,c (référencés 50 et 86 sur les figures 3 et 5), sont ici rappelés par les références 230 a,b,c. Ils sont connectés à un collecteur 232, relié à un conduit 234, raccordé à la sortie de la chaudière 222, par une canalisation calorifugée 235. Les raccords hauts des éléments d'évaporation 224 a,b,c (premier groupe) sont alimentés en eau de mer chaude par des tubes de connexion 236 a,b,c reliés au conduit 234. Les tubes de connexion 238 a,b,c, fixés aux raccords bas de ces mêmes éléments
30 d'évaporation sont reliées à un collecteur 240, prolongé par un conduit 241 qui traverse la paroi inférieure de la chambre de traitement 223 et aboutit à l'entrée d'un organe de refroidissement 242, identique à l'organe 190 de la figure 8 et installé de même. La sortie de l'organe de refroidissement 242 est connectée à un conduit 243 qui traverse la paroi inférieure de la chambre 223 et aboutit à un collecteur 244 alimentant les tubes de connexion 246 a,b des raccords bas des éléments de condensation 226 a,b
35 (second groupe). Les tubes de connexion 248 a,b des raccords hauts des éléments de condensation 226 a,b sont reliés à un collecteur 250, connecté à une canalisation calorifugée 252, reliée à l'entrée de la chaudière 222. Au conduit 240, est par ailleurs raccordée une colonne 254, débouchant à l'air libre un peu au-dessus du niveau du conduit 232 d'alimentation en eau de mer chaude à étaler sur les éléments d'évaporation. Dans cette colonne 254, se déverse un débit déterminé constant d'eau de mer à la
40 température extérieure, fourni par un tuyau 255, pourvu d'une vanne de réglage de débit 257 et relié à un réservoir 259 (lui-même précédé d'un filtre non représenté). Ce débit constant, qui correspond

sensiblement à 10% du débit circulant dans l'appareil, engendre le débordement d'un débit égal d'eau chaude venant de la chaudière 222, répandu sur les parois externes hydrophiles des éléments d'évaporation 224 a,b,c. En outre, ce débit constant représente environ le double du débit d'eau douce attendu et au moins une fois et demie ce dernier débit, afin de ne jamais déposer de sel dans l'appareil.

5 Le chausson 90 et son tuyau 92 des figures 5 et 6, prévus pour la collecte de la saumure qui s'écoule de chacun des revêtements hydrophiles des éléments d'évaporation 224 a,b,c, sont représentés ici et portent les références 256 a,b,c. Ils sont reliés à un collecteur 258, affecté à l'évacuation de cette saumure. Un chausson 261 a-b et un tuyau 263 a-b, identiques aux précédents, sont mis en place sur les éléments de condensation 226 a,b et sont reliés à un collecteur 260, connecté à un tuyau 262 d'évacuation de l'eau
10 distillée.

En installant la chaudière solaire 222 au-dessous de la chambre de traitement 223, de telle façon que la sortie de cette chaudière soit située à au moins 2m au-dessous du collecteur 232, alimentant en eau chaude à étaler les éléments d'évaporation 224 a, b, c, une circulation par thermosiphon de l'eau chaude produite par la chaudière, s'établit spontanément dans le circuit fermé constitué dans l'appareil de
15 distillation. La vitesse moyenne finale de cette circulation est de 15 cm/sec environ, dans les canalisations calorifugées 235 et 252, et de quelques mm/sec dans les alvéoles des éléments d'échange thermique. Cette vitesse est réglée par une vanne 264, à commande manuelle, installée au point le plus froid de l'appareil, à savoir au début du collecteur 244 qui alimente en eau refroidie, produite par l'organe de refroidissement 242, les tubes de connexion bas 246 a,b des éléments de condensation 226 a,b.

20 La chaudière solaire à accumulation 222 comprend un réservoir allongé 266 en polyéthylène noir relativement épais (0,15 mm par exemple) mesurant 40 cm de large, 30 cm de haut et de 3 m de long, qui contient environ 300 litres d'eau, soit à peu près dix fois le volume d'eau contenu dans les alvéoles des éléments d'échange thermique 224-226. Le réservoir 266 est, d'une part, installé sur un plateau isolant 268 et, d'autre part, sous une couverture transparente 270, en polyéthylène traité pour piéger les rayons infra-
25 rouges, montée d'une manière étanche sur des flancs rigides isolants transparents 272 a,b, solidaires du plateau 268. Ce plateau 268 et le réservoir 266 sont orientés en fonction de la latitude du lieu d'installation de l'appareil 220 et légèrement inclinés.

L'extrémité basse de la canalisation calorifugée 235 de départ d'eau chaude est connectée à une bonde 274, installée à l'extrémité la plus haute du réservoir 266. La canalisation calorifugée 252 de retour
30 d'eau refroidie aboutit sur une bonde 276, installée à l'extrémité la plus basse du réservoir 266. Une telle chaudière solaire à accumulation produit pendant les six heures de plein soleil de la journée une eau chaude à 75°C environ. Grâce au bon isolement thermique de l'appareil, pendant la nuit, cette température diminue lentement jusqu'à environ 60°C. Quant à la température de l'eau qui retourne à la chaudière, elle demeure constamment de 4 à 6°C environ au-dessous de la température de l'eau chaude sortante.
35 L'appareil 220 fonctionne jour et nuit, mais la production horaire d'eau douce diminue pendant la nuit, en même temps que la température de l'eau chaude fournie par la chaudière.

Grâce à ces dispositions, les trois appareils de distillation selon l'invention, décrits aux figures 8, 9 et 10, fournissent des résultats particulièrement intéressants. Cela est dû à l'efficacité élevée de chacun des éléments d'échange thermique liquide/vapeur quasi réversible utilisés, à la possibilité de les assembler en
40 un volume relativement faible, pour former de très grandes surfaces totales d'échanges thermiques et à la très faible épaisseur des lames d'air qui séparent ces éléments. A chaque niveau des parois de ces

éléments d'échange thermique, les températures des fluides chauds qui circulent de haut en bas sont légèrement supérieures (au moins supérieure à un seuil théorique d'environ 0,5°C dans le cas de l'eau de mer) à celles des fluides "froids" qui circulent de bas en haut.

Dans les appareils de mise en œuvre des deuxième et troisième procédés selon l'invention, environ
5 10% de l'eau, en circulation dans les conduits ou les alvéoles des éléments d'échange thermique, est étalée sur les parois à revêtement hydrophile des éléments d'évaporation. Au cours de sa descente, par capillarité et/ou gravité, le long des parois de ces éléments d'évaporation, la moitié environ et au plus les deux tiers de l'eau ainsi étalée sont évaporés puis condensés sur les parois à revêtement hydrophile des
10 éléments de condensation. Pour ce faire, la température de l'eau chaude ainsi étalée diminue progressivement de haut en bas, de même que diminue celle de l'eau qui l'accompagne et qui circule de haut en bas dans les conduits ou les alvéoles des éléments d'évaporation, cependant qu'augmente de la même façon la température de l'eau qui circule de bas en haut dans les éléments de condensation, lesquels récupèrent ainsi la chaleur latente de condensation de la vapeur. Dans les éléments d'échange
15 thermique des appareils selon le premier procédé, de l'air chaud saturé remplace l'eau en circulation dans les éléments des deux autres, mais les échanges thermiques sont semblables.

On notera que le revêtement hydrophile intérieur des parois des éléments de l'appareil selon la figure 8 (premier procédé) et que le revêtement extérieur, hydrophile ou mouillable, des parois des éléments de condensation des appareils selon les figures 9-10 (deuxième et troisième procédés), permettent aux
20 petites gouttes d'eau pure condensée sur ces parois, de descendre lentement en abandonnant au même rythme leur chaleur latente de condensation à l'eau de mer qui circule en sens inverse à l'extérieur ou à l'intérieur de ces éléments. Un tel revêtement hydrophile, appliqué sur les parois froides de ces éléments, empêche la formation progressive de grosses gouttes d'eau chaude en haut des éléments, suivie de descentes brusques de ces mêmes gouttes. Ce qui aurait diminué notablement le taux de recyclage de la chaleur de condensation de la vapeur.

Un écart de température de plusieurs dizaines de degrés existe entre le haut et le bas de la lame d'air saturé en vapeur, présente dans les espaces libres séparant les éléments d'échange thermique. Dans ces
25 lames d'air saturé, la pression absolue est constante cependant que la pression partielle de vapeur d'eau est élevée dans leur partie proche des plaques chaudes et notablement plus faible dans leur partie proche des plaques froides. Il en résulte une diffusion naturelle des molécules de vapeur d'eau dans ces lames
30 d'air saturé qui amène ces molécules à quitter un niveau de paroi chaude pour se condenser sur une paroi froide située au même niveau. Dans le cas du troisième procédé de distillation selon l'invention, l'importance de cette diffusion dépend directement du coefficient de transfert d'énergie entre la paroi d'un élément chaud et celle de l'élément froid qui lui fait face. Ce coefficient augmente lorsque diminue l'écart entre deux parois opposées et que croît la pression partielle de vapeur d'eau. Dans l'intervalle de tempéra-
35 ture concerné (20 à 95°C), il est compris entre 50 et 500 W/K.m² et il est toujours largement supérieur à toutes les autres formes d'échange thermique entre les éléments (rayonnement, conduction à travers l'air, convection). Ce qui permet de réaliser une distillation d'eau très importante.

Dans le cas du troisième procédé, on remarquera que l'échange de chaleur, qui s'établit d'une paroi chaude vers la paroi froide de l'élément d'échange thermique d'en face, s'accompagne d'un échange d'eau
40 pure à travers une sorte de membrane osmotique, constituée par la lame d'air humide saturé, disposée entre ces éléments. A ceci près cependant, que le moteur de l'échange n'est pas une différence de

pression, établie de part et d'autre de la lame d'air par une pompe, mais une simple différence de tension de vapeur, résultant de la différence de températures, beaucoup plus facile à obtenir, en intercalant une chaudière entre les sorties des éléments de condensation à parois froides et les entrées des éléments d'évaporation à parois chaudes.

5 Pour ce qui concerne l'énergie thermique apportée par la chaudière, elle se retrouve en fin de compte dans la différence de températures existant entre les liquides tièdes (distillat et concentré) évacués par l'appareil et le liquide à température extérieure qui y entre, dans l'énergie dissipée par l'organe de refroidissement, dans les pertes thermiques de l'appareil (parois des éléments d'échange thermique quasi réversible, chambres de traitement et canalisations diverses) mais également dans le travail de séparation
10 de l'eau pure et de la saumure qui détermine le seuil théorique de 0,5°C visé plus haut.

Quant aux éléments d'échange thermique liquide/vapeur quasi réversible d'un appareil de distillation selon l'invention, ils traitent et recyclent des quantités d'énergie thermique équivalant jusqu'à cinquante fois celle fournie par la chaudière. Le coefficient de performance qui en résulte est d'autant plus élevé que sont faibles, d'une part, les pertes d'énergie au cours du double échange liquide/vapeur et vapeur/liquide entre
15 un fluide montant et un fluide descendant, séparés par la paroi mince d'un élément d'échange thermique et, d'autre part, les pertes à travers les parois externes calorifugées de l'appareil. Par ailleurs, on notera que la valeur théorique de ce coefficient de performance, qui dépend directement de la pression de vapeur saturante de l'eau chaude produite par la chaudière, est égale au quotient des différences de températures de l'eau en circulation, respectivement engendrées par les éléments d'échange thermique et par cette
20 chaudière.

En conséquence, des appareils de distillation d'eau de mer, comprenant les caractéristiques de l'un ou l'autre des procédés décrits plus haut, sont à la fois particulièrement efficaces et particulièrement économiques. En effet, avec des éléments d'échange thermique peu onéreux et peu encombrants à deux faces actives selon l'invention, on peut réaliser dans des volumes réduits, des surfaces d'échanges
25 thermiques liquide/vapeur quasi réversibles particulièrement grandes, par exemple mille mètres carrés installés dans un conteneur de moins de 10 m³, pour constituer l'appareil de distillation selon la figure 8. La production d'eau douce des appareils de distillation d'eau de mer, réalisés selon l'un ou l'autre des procédés de la présente invention, est estimée comprise entre dix et cinquante litres par kWh thermique utilisé, en fonction du niveau d'optimisation possible des différents paramètres régissant le fonctionnement
30 de ces appareils. Ce qui donne un coefficient de performance susceptible d'être compris entre 7 et 35.

Les trois procédés de distillation selon l'invention peuvent être mis en œuvre au moyen d'une chaudière solaire ou conventionnelle. Mais il faut noter que les appareils de distillation à chaudière solaire sont en général moins productifs, par unité d'énergie thermique utilisée, que ceux à chaudière conventionnelle. En effet, les températures maximales de l'eau chaude fournie par la chaudière sont très différentes
35 dans l'un et l'autre type de chaudière et elles constituent l'un des paramètres majeurs déterminant le coefficient de performances de l'appareil. Avec une chaudière solaire, dont la puissance thermique dépend de facteurs extérieurs (la latitude et la saison du lieu d'installation), cette température maximale est comprise entre environ 65°C et 75°C, cependant qu'avec une chaudière conventionnelle à puissance thermique aisément réglable, elle atteint facilement 95°C.

40 Dans ces conditions, la vanne 264 de réglage de débit de l'eau chaude fournie par la chaudière solaire et celle 257 ajustant l'alimentation en eau de mer à distiller, prévues pour un appareil de distillation selon le

troisième procédé de l'invention, sont particulièrement importantes. En effet, quelque soit le type de chaudière utilisée, conventionnelle ou solaire avec ou sans accumulation, la maximisation du coefficient de performance d'un appareil de distillation dont les paramètres sont fixes (nombre, hauteur et largeur des éléments d'échange, largeur de l'espace les séparant, puissance thermique maximale de la chaudière), impose que la différence de températures entre les débits d'eau chaude et moins chaude sortant de la chaudière et y entrant, soit aussi faible que possible, cependant que la différence de températures entre le haut et le bas des éléments d'échange thermique doit, au contraire, être aussi élevée que possible. En jouant sur la vanne 264 de réglage du débit d'eau chaude, installée dans le circuit fermé comprenant la chaudière 222, on modifie la vitesse de montée par thermosiphon de cette eau chaude dans la canalisation 235 d'alimentation des éléments d'échange thermique chauds 264 a,b,c et donc sa vitesse de circulation dans les alvéoles de ces éléments. L'écoulement, par capillarité et par gravité, de l'eau chaude à évaporer, répandue sur les revêtements hydrophiles verticaux des éléments d'évaporation, dépend du débit autorisé par la vanne 257. Ce dernier débit détermine le trop plein du circuit fermé, constitué par les éléments d'échange thermique et par la chaudière. Au-delà d'un premier seuil (haut) de ce débit, on comprend que l'écoulement d'eau à distiller dans les revêtements hydrophiles des éléments d'évaporation est trop rapide et se fait plus par gravité que par capillarité. Ce qui affecte directement le transfert de chaleur de l'eau chaude circulant dans les alvéoles à l'eau chaude à évaporer, répandue sur leurs parois. Cela diminue considérablement la production horaire d'eau douce de l'appareil et augmente inutilement la production d'une saumure peu concentrée. En revanche, en deçà d'un second seuil (bas) de débit d'eau à distiller, la concentration de la saumure peut être trop importante et engendrer un dépôt de sel, dommageable à un bon fonctionnement prolongé de l'appareil.

Sur les figures 8 et 9, les appareils de distillation selon l'invention incorporent des chaudières conventionnelles et les vannes telles que 99-135 (fig.8) ou 196 (fig.9) sont réglées une fois pour toutes. Au contraire, avec des chaudières solaires, les vannes 264 et 257 doivent être périodiquement réglées pour optimiser le fonctionnement de l'appareil, en fonction des valeurs des paramètres extérieurs visés plus haut. En pratique, on pourra disposer de moyens additionnels, manuels ou même automatiques, pour quelque peu modifier ces réglages en fonction des principales plages de températures maximales de l'eau chaude produite par la chaudière solaire, au cours des saisons et des jours.

Avec des éléments alvéolaires d'échange thermique susceptibles de supporter sans déformations des températures relativement élevées (150°C, par exemple pour des éléments métalliques insensibles à l'eau de mer, aux parois pourvues de gouttières étroites) et avec des moyens appropriés d'alimentation forcée en liquide à distiller, il est possible de faire travailler en surpression l'ensemble des éléments d'échange thermique d'un appareil de distillation exploitant les deuxième et troisième procédés selon l'invention. Ce qui permettrait d'augmenter notablement le coefficient de performance d'un tel appareil, en fonction directe de la température de l'eau chaude fournie par la chaudière conventionnelle utilisée. Cette variante pourrait convenir à la solution de problèmes particuliers propres à certaines industries des concentrés, notamment lorsque les éléments d'évaporation concernés ne seront pas creux mais seulement plats, comme cela sera précisé ci-après.

Selon le type de chaudières retenu, les destinations des appareils de distillation selon l'invention seront totalement différentes. Dans le cas des chaudières solaires, notamment celles à accumulation, les marchés concernés seront tout d'abord celui de la production économique, familiale ou collective, d'eau

douce pour l'alimentation et/ou l'irrigation dans les régions sèches du littoral, dans les déserts au sous-sol riche en eaux saumâtres et dans les régions tropicales ne disposant que d'eaux polluées. A ces marchés, s'ajoute celui de la production de saumure dans les salines. Dans le cas des chaudières conventionnelles (chauffe-eau domestique ou chaudière de chauffage central), les marchés concernés par des appareils de distillation selon les trois procédés de l'invention, seront, d'une part, celui de la production économique d'eau douce sur les bateaux de plaisance et, d'autre part, celui d'une production économique de concentrés dans différentes industries et notamment dans les sucreries. Pour certaines applications, le gaz incondensable, qui doit être présent dans les appareils de distillation, pourra ne pas être de l'air mais un gaz neutre (azote, par exemple). Dans tous les cas, la réalisation et le fonctionnement des chambres de traitement seront très semblables. Pour ce qui concerne les concentrés, les appareils de distillation selon l'invention permettent de presque tripler à bon compte la concentration en sel ou en sucre des eaux à traiter.

On va maintenant comparer entre eux les avantages et les inconvénients respectifs des appareils de distillation selon l'invention, représentés aux figures 8, 9 et 10.

Dans le cas de l'appareil de la figure 8, la turbine utilisée consomme une énergie électrique relativement importante, très supérieure à celle nécessaire au fonctionnement d'un ventilateur produisant un courant d'air à faible pression. Toutefois, cette consommation est marginale devant l'énergie produite par l'alternateur associé au moteur marin concerné. Ce qui permet de construire dans de bonnes conditions économiques des appareils de co-génération électricité et eau douce, domestiques ou collectifs, de capacité petite (20 m³/jour) ou moyennes (plusieurs centaines de m³/jour) de distillation d'eau de mer. Ces appareils ont un coefficient de performance au moins égal à celui des grosses unités industrielles onéreuses de dessalement d'eau de mer, du type MSF ou à osmose inverse.

Dans le cas de l'appareil représenté à la figure 9, deux chambres de traitement sont utilisées au lieu d'une seule dans le premier appareil selon la figure 8. Ce qui, pour un nombre total donné d'éléments d'échange thermique et un volume total donné de ces chambres, a pour effet de diviser par deux les surfaces d'échange thermique respectivement affectées à la condensation et à l'évaporation. Les performances susceptibles d'être obtenues par ce deuxième appareil, au moyen de l'énergie gratuite d'une chaudière solaire, sont estimées à un mètre cube d'eau douce par kWh électrique consommé par la turbine. Ce qui, en fin de compte, démontre un intérêt certain de ce deuxième procédé par rapport au premier. Cette conclusion demeure correcte avec des chaudières d'un type conventionnel.

Dans le cas de l'appareil représenté à la figure 10, une seule chambre de traitement est à nouveau utilisée. Mais dans cette unique chambre de traitement, les surfaces d'échange thermique respectivement affectées à la condensation de vapeur et à l'évaporation de liquide, sont à nouveau, pour un volume donné de cette chambre, deux fois plus faibles que dans le cas du premier appareil. Cet inconvénient est largement compensé par le fait qu'aucune énergie électrique n'est plus nécessaire. Dans ces conditions, la construction, l'exploitation et la maintenance d'appareils de distillation d'eau de mer, selon le troisième procédé de l'invention, destinés aux régions chaudes, industrialisées ou non, disposant d'eau non potable, sont particulièrement banales et bon marché. En effet, ils ne prévoient aucun besoin d'énergie électrique et se contentent d'une chaudière solaire usuelle, avec ou sans accumulation, (de puissance thermique comprise entre 0,3 et 3 kW), associée à une chambre de traitement calorifugée, contenant quelques dizaines ou au plus une ou deux centaines de mètres carrés d'éléments d'échange thermique peu

onéreux, selon l'invention. En outre, l'utilisation d'une chaudière solaire à accumulation permet de faire fonctionner jour et nuit, un appareil de distillation selon l'invention.

Pour terminer ces comparaisons, on notera qu'avec des appareils de distillation comportant un nombre donné de mètres carrés d'éléments d'échange thermique, correspondant à une puissance thermique
5 donnée de la chaudière, ceux équipés d'une chaudière solaire, sans ou avec accumulation, ont des temps respectifs de mise en production stable de quelques heures ou d'un jour ou deux. Dans le cas d'appareils de distillation équipés d'une chaudière solaire sans accumulation, il faut éviter que, dès le crépuscule, l'eau chaude contenue dans les éléments d'échange thermique ne soit évacuée par l'arrivée d'eau de mer froide à distiller. Pour ce faire, le robinet 257 de contrôle du débit de cette eau pourra comprendre un dispositif de
10 manœuvre automatique sensible au rayonnement solaire. Un tel robinet est inutile dans le cas d'une chaudière solaire à accumulation.

L'invention n'est bien entendu pas limitée aux formes de réalisation d'appareils de distillation et d'éléments d'échange thermique perfectionnés décrits ci-dessus.

L'appareil de distillation selon le premier procédé de l'invention, décrit à la figure 8, traite des débits
15 moyens d'eau chaude. En augmentant le nombre de mètres carrés d'échange thermique et, en même temps, les dimensions de la chambre de traitement, en fonction de l'espace disponible, ce même type d'appareil convient tout à fait au traitement de débits d'eau de mer chaude beaucoup plus importants, (notamment ceux produits par le refroidissement de moteurs marins embarqués), jusqu'à 200 m³/jour par exemple, afin de pouvoir produire au moins 100 m³/jour d'eau douce, par chambre de traitement.

Les appareils décrits aux figures 8 et 9 peuvent fonctionner avec une chaudière solaire, avec ou sans accumulation, opérant avec pompe ou par thermosiphon. Dans le cas de l'appareil selon la figure 8, la sortie de la chaudière solaire aboutira à la vanne 99 disposée à l'entrée du réservoir 101, et l'entrée de cette chaudière sera reliée, d'une part à une canalisation de sortie de ce réservoir, semblable au conduit 12 et, d'autre part, à un conduit pourvu d'une vanne assurant l'alimentation en eau de mer à distiller, de
25 préférence préchauffée. Par ailleurs, l'appareil selon la figure 9 pourra, en fonction de conditions particulières d'exploitation, comprendre plusieurs groupes de doubles chambres de traitement (évaporation et condensation), chaque chambre ne comportant qu'un petit nombre d'éléments d'échange thermique, tous connectés les uns aux autres, en accord avec leurs fonctions respectives.

De même, l'appareil décrit à la figure 10 peut fonctionner avec une chaudière conventionnelle, avec
30 ou sans pompe de circulation. Pour ce qui est de l'alambic solaire selon la figure 10, on notera que plusieurs ballons de chauffage solaire peuvent être installés en parallèle sous une même couverture de protection thermique, de manière à constituer une importante surface totale d'absorption du rayonnement solaire, de 10 m² par exemple. Ce qui, dans les régions chaudes, donnerait à un tel chauffe-eau une énergie thermique journalière de 60 kWh, susceptible de produire au moins 2 m³/jour d'eau douce, au
35 moyen d'une chambre de traitement peu encombrante, enfermant des éléments d'échange thermique ayant une centaine de mètres carrés de surface totale.

Selon l'invention, le liquide caloporteur des appareils de distillation décrits aux figures 9 et 10, peut ne pas être le liquide à distiller, mais de l'eau pure par exemple. A cet effet, le conduit 194 et la vanne 196 de la figure 9, alimentant l'appareil en liquide à distiller, seront reliés, non plus aux conduits 192 et 193
40 débouchant sur les raccords bas des éléments d'échange thermique de la chambre de condensation 152, mais à un échangeur thermique approprié, immergé dans le réservoir 168 de la chaudière. Cet échangeur

alimentera les tuyaux 164 a...f amenant du liquide chaud sur les parois extérieures des éléments d'échange thermique de la chambre d'évaporation. Un arrangement semblable pourra être appliqué à l'appareil selon la figure 10, notamment lorsque la chaudière sera d'un type conventionnel.

5 Dans les appareils de distillation selon les figures 9 et 10, dans lesquels le liquide caloporteur est le liquide à distiller, il est intéressant de préchauffer le liquide froid à distiller, avant de l'introduire au point le plus froid du circuit bouclé suivi par le liquide en circulation dans les éléments d'échange thermique de ces appareils. Un tel réchauffement sera réalisé au moyen d'un échangeur thermique approprié dans lequel circulent, d'une part, le distillat et/ou le condensé produits et, d'autre part, le liquide froid à distiller. L'élévation de température ainsi apportée au liquide froid à distiller se traduit par une élévation générale
10 des températures tout au long du circuit bouclé suivi par le liquide en circulation. Plus précisément, ce réchauffement du liquide froid à distiller se traduit par une augmentation semblable de la température du liquide chaud produit par la chaudière et par une diminution équivalente de la baisse de température subie par le liquide sortant des éléments d'évaporation avant son introduction à la base des éléments de condensation. Ces deux variations en sens inverse, des températures du liquide entrant dans les éléments
15 d'échange thermique concernés, ont pour conséquence un accroissement direct du coefficient de performance des appareils.

Les figures 9 et 10 représentent des appareils de distillation selon l'invention, dans lesquels les éléments d'échange thermique utilisés sont creux et verticaux. Dans deux premières variantes susceptibles d'être respectivement apportées aux appareils de distillation ainsi représentés, les éléments d'échange thermique d'évaporation demeureront creux et plats mais ne seront plus verticaux et, au contraire,
20 disposés suivant des plans parallèles légèrement inclinés. Dans les deux cas, la paroi supérieure des éléments d'évaporation sera équipée de l'un des moyens définis plus haut, pour assurer un étalement uniforme du liquide à distiller. Ces moyens pourront, au choix, être une nappe de feutre hydrophile, une plaque de poudre frittée poreuse ou des gouttières larges et peu profondes, disposées en cascade. Quant
25 aux éléments d'échange thermique de condensation, ils seront inclinés comme les éléments d'évaporation et ce seront des panneaux rectangulaires, creux et plats, pourvus de revêtements hydrophiles ou mouillables, assurant une rétention appropriée du liquide condensé, grâce à la mise en œuvre de forces de capillarité supérieures aux forces de gravité concernées.

Dans le cas d'un appareil selon le deuxième procédé de distillation, les éléments d'évaporation et de
30 condensation seront installés en plusieurs couches parallèles, dans deux chambres séparées. Une pompe de circulation de liquide et un ventilateur de circulation de gaz seront nécessaires. Dans ces conditions, les éléments de condensation pourront posséder des revêtements hydrophiles ou mouillables sur leurs deux faces, leur surface totale demeurant sensiblement égale à celle des éléments d'évaporation.

Dans le cas d'un appareil selon le troisième procédé de distillation, plusieurs couches de paires
35 d'éléments d'évaporation et de condensation de mêmes dimensions, disposés en regard, seront installées dans une même chambre de traitement, légèrement inclinées et séparées les unes des autres par une plaque de matériau isolant. Une pompe de circulation de liquide sera nécessaire.

Dans deux autres variantes susceptibles d'être respectivement apportées aux appareils de distillation selon les figures 9 et 10, les éléments creux et plats d'échange thermique d'évaporation utilisés seront
40 remplacés par de simples plaques rigides. Une paroi de ces plaques sera pourvue de moyens pour efficacement étaler l'écoulement de tout liquide répandu sur elle et ces plaques pourront être verticales ou

légèrement inclinées. Dans les appareils de distillation ainsi modifiés, le liquide caloporteur est le liquide à distiller et celui-ci est répandu chaud au sommet des plaques d'évaporation. Dans les deux cas, une pompe sera nécessaire pour faire circuler le liquide en circuit fermé et, dans le cas d'une réalisation à 5 chambres d'évaporation et de condensation séparées, un ventilateur faisant circuler le gaz incondensable le sera également. Ces appareils ainsi modifiés seront respectivement réalisés selon les mêmes architectures générales (1) que celles illustrées aux figures 9 et 10, utilisant des éléments verticaux et (2) que celles précisées plus haut pour les deux premières variantes, utilisant des éléments creux et plats, légèrement inclinés. Ce type d'appareils, équipé de telles plaques d'évaporation, produit un concentré (saumure ou sirop) particulièrement dense, puisque tout le liquide chaud à distiller est répandu sur la paroi 10 supérieure des plaques d'évaporation et que seule une petite partie de ce liquide en circulation est évaporée à chaque passage. Une telle caractéristique présente un intérêt particulier pour les salines et les sucreries.

On notera, d'une part, que ces deux dernières variantes des appareils de distillation selon l'invention sont respectivement conformes aux deuxième et troisième caractéristiques particulières du procédé 15 général de distillation définies plus haut et que, d'autre part, la variante à deux chambres se distingue fondamentalement de la technique Desplats, décrite dans la présentation des procédés de distillation connus.

Les organes de connexion amont et aval des éléments d'échange thermique décrits ci-dessus sont des tubes disposés dans le plan de ces éléments mais chaque tube de connexion peut être remplacé par deux 20 bagues, de diamètre nettement plus grand, respectivement installées des deux côtés d'une excroissance latérale, creuse et plate, ajoutée aux renforts rigides de l'élément. Ce qui permet de diminuer les pertes de charge des fluides, et notamment des gaz, circulant dans les éléments d'échange thermiques.

En ce qui concerne la forme des éléments d'échange thermique selon l'invention, on remarquera que si des éléments à parois planes permettent de remplir au mieux une chambre de traitement à section 25 rectangulaire, des éléments à section courbe seront de préférence utilisés, en tronçons jointifs, dans le cas où, pour une raison quelconque, la chambre serait circulaire ou elliptique.

Par ailleurs, on notera que les matériaux plastiques, respectivement souples et rigides, (polyéthylène et polypropylène) présentés ci-dessus, à titre d'exemples, pour la fabrication de deux types particuliers d'éléments alvéolaires d'échange thermique selon l'invention, n'excluent pas pour autant l'emploi d'autres 30 matériaux polymères, dès lors que ceux-ci répondent aux critères de choix mis en œuvre. En fait tout matériau plastique, neutre vis-à-vis des liquides alimentaires, peut en principe convenir. Plus précisément, de tels matériaux plastiques, susceptibles de constituer des feuilles souples (le cas échéant thermodurcissables), tels que du PVC ou du polyuréthane, peuvent donc être aussi utilisés pour la réalisation d'éléments à nappes souples selon la figure 1. De même, des plastiques susceptibles d'être utilisés pour 35 constituer des objets durs tels que des panneaux rigides, notamment du polycarbonate ou de l'ABS, peuvent être également utilisés pour la réalisation d'éléments d'échange thermique selon la figure 5 et 7.

Dans les régions sèches du littoral, les centrales électriques qui utilisent de l'eau de mer pour leur refroidissement pourront, grâce aux procédés de distillation selon l'invention, valoriser leurs rejets d'eau de mer chaude en produisant de l'eau douce, à des conditions particulièrement économiques. Il en est de même pour les moteurs marins équipant les navires de gros et moyens tonnages, notamment ceux de 40 croisière. Dans tous les cas, il sera intéressant de préférer le premier procédé de distillation selon

l'invention qui, à production d'eau douce égale, requiert des mètres carrés d'échangeurs thermiques deux fois moins nombreux et moins encombrants, mais une puissance électrique ou mécanique relativement importante pour faire tourner la turbine nécessaire.

- 5 Dans les régions subtropicales, pour transformer en eau potable une eau polluée, il est intéressant, après décantation et filtrage de cette eau, d'utiliser un appareil de distillation selon l'invention, notamment celui réalisé selon le troisième procédé qui fait appel à une chaudière solaire à accumulation et ne nécessite aucune énergie électrique. Au cas où, après distillation, l'eau douce produite contiendrait encore une proportion dangereuse de bactéries, on pourra introduire dans la chambre de traitement, d'une manière continue ou périodique, un gaz bactéricide (du chlore par exemple). En se mélangeant au gaz
- 10 incondensable de la chambre de traitement, ce gaz additionnel permettra d'aseptiser facilement l'eau douce produite.

REVENDICATIONS

5

1. Procédé de distillation à multiple effet, destiné à séparer de leur solvant liquide des matières en solution, caractérisé en ce qu'il utilise un échange thermique à contre-courant, l'un des courants assurant l'évaporation du liquide et l'autre, la condensation de vapeur, de telle manière que la chaleur de condensation de la vapeur est récupérée pour évaporer et/ou réchauffer du liquide à une pression partielle de vapeur inférieure, cette pression partielle étant variable et obtenue grâce à la présence d'un gaz incondensable assurant une pression totale sensiblement uniforme.

10

2. Procédé de distillation selon la revendication 1, caractérisé en ce que le gaz incondensable est utilisé comme fluide caloporteur, cependant que les opérations d'évaporation et la condensation sont effectuées de part et d'autre des parois, à température non uniforme, d'un échangeur thermique, à travers lesquelles passe le flux de chaleur, que les écoulements du gaz transportant la vapeur sont réalisés à contre-courant au cours de ces opérations, que le liquide à évaporer progresse sur l'une des faces des parois de l'échangeur thermique et que le liquide distillé se condense sur l'autre face, les sources chaude et froide étant situées aux deux extrémités du courant de gaz bouclé sur lui-même ainsi constitué.

20

3. Procédé de distillation selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'évaporation du liquide à distiller est réalisée sur une ou des surfaces chaudes, opérant à une température non uniforme, installées dans une première chambre de traitement, et la condensation de vapeur, réalisée sur une ou des autres surfaces, opérant à une température non uniforme globalement plus froide que la précédente, installées dans une seconde chambre de traitement communiquant avec la première par le haut et par le bas, les différentes zones des surfaces d'évaporation et de condensation étant localement maintenues aux températures requises, grâce à la circulation à contre-courant d'un fluide caloporteur le long de ces surfaces, une source chaude étant disposée entre les extrémités les plus chaudes des surfaces d'évaporation et de condensation et une source froide, installée entre leurs extrémités les plus froides, les échanges thermiques entre la surface chaude et la surface plus froide, étant assurés par la circulation en circuit fermé, selon un sens opposé à celui du fluide caloporteur, d'un gaz incondensable passant d'une chambre à l'autre, lesquelles chambres sont à une pression totale uniforme.

25

30

4. Procédé de distillation selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'évaporation du liquide est réalisée sur une ou des surfaces chaudes opérant à une température non uniforme et la condensation de vapeur, réalisée sur une ou des autres surfaces, disposées en regard de la ou des précédentes, opérant à une température non uniforme globalement plus froide, les différentes zones des surfaces d'évaporation et de condensation étant localement maintenues aux températures requises, grâce à la circulation à contre-courant d'un fluide caloporteur, une source chaude étant disposée entre les extrémités les plus chaudes des surfaces d'évaporation et de condensation et une source froide, installée entre leurs extrémités les plus froides, les différences de pression partielle de vapeur saturante entre les différentes zones desdites

35

40

surfaces étant assurées par la présence d'un gaz incondensable dans une chambre de traitement à pression totale uniforme.

5. Procédé de distillation selon la revendication 2, caractérisé en ce que, dans ce procédé :

- 5 - des éléments d'échange thermique liquide/vapeur creux et plats, quasi réversibles (60 ou 104 a...g) sont disposés, verticaux ou inclinés, dans une chambre de traitement calorifugée (102), avec des espaces de séparation étroits (106 a...h), de largeur sensiblement constante (14 a-b), remplis d'un gaz incondensable ;
- le liquide à distiller est chauffé et de la vapeur (118) est produite dans un réservoir (101) ;
- 10 - un courant (120-122) de gaz chaud saturé en vapeur (118) traverse de haut en bas l'intérieur des éléments (104 a...g) pendant que du liquide chaud (114) s'écoule (112) lentement le long de leurs parois extérieures ;
- au sortir de ces éléments, une séparation gaz/liquide (128) est faite et le gaz est légèrement refroidi (130) avant d'être introduit (137) à la base des espaces (138 a...h) séparant les éléments (104 a...g), de manière à lécher de bas en haut leurs parois extérieures ;
- 15 - le gaz sortant de ces espaces de séparation barbote (143) dans du liquide chaud (114) et le circuit parcouru par ce gaz est ainsi bouclé ;
- le distillat est recueilli (146) après séparation gaz/liquide ;
- le concentré est recueilli en bas (148) des espaces séparant les éléments.

20 6.. Procédé de distillation selon la revendication 3, caractérisé en ce que, dans ce procédé,

- des éléments d'échange thermique liquide/vapeur, creux et plats, quasi réversibles (158 a,b,c et 160 a,b,c) sont disposés verticaux ou inclinés, dans deux chambres de traitement (152-154) calorifugées (153-155), communiquant par le haut (174) et par le bas (176), respectivement affectées à l'évaporation de liquide et à la condensation de vapeur, de telle manière que ces éléments y soient séparés deux à deux
- 25 par un espace libre étroit (132 a...d), de largeur sensiblement constante, rempli d'un gaz incondensable ;
- un liquide caloporteur est chauffé dans une chaudière (168) et amené à circuler en circuit fermé de haut en bas à l'intérieur des éléments (160 a,b,c) de la chambre d'évaporation (152) puis, après un léger refroidissement (191), de bas en haut à l'intérieur des éléments (158 a,b,c) de la chambre de condensation (154) et finalement il est ramené à la chaudière (168);
- 30 - du liquide chaud à distiller est répandu (162 a,b,c et 164 a,b,c) en haut des parois extérieures des éléments de la chambre d'évaporation et s'écoule lentement le long de ces parois ;
- un courant de gaz saturé en vapeur circule (174-176) en circuit fermé entre les éléments d'échange thermique, de haut en bas de la chambre de condensation (152) puis de bas en haut de la chambre d'évaporation (154);
- 35 - un débit déterminé (194-196) de liquide froid à distiller remplace continuellement le débit de liquide chaud répandu sur les éléments d'échange thermique de la chambre d'évaporation ;
- le distillat est recueilli en un point bas (198) de la chambre de condensation (152) ;
- le concentré est recueilli en un point bas (200) de la chambre d'évaporation (154).

40 7. Procédé de distillation selon la revendication 4, caractérisé en ce que, dans ce procédé,

- des éléments d'échange thermique liquide/vapeur, creux et plats, quasi réversibles (224 a,b,c – 226 a,b,c), sont installés inclinés ou verticaux, dans une chambre de traitement calorifugée (223), de telle manière que ces éléments soient séparés deux à deux par un espace étroit, de largeur sensiblement constante, rempli d'un gaz incondensable ;
- 5 - les éléments sont répartis en deux groupes, respectivement affectés à l'évaporation de liquide (224 a,b,c) et à la condensation de vapeur (226 a,b,c), chaque élément de condensation étant disposé entre deux éléments d'évaporation ;
- un liquide caloporteur est chauffé dans une chaudière (222) et amené à circuler en circuit fermé de haut en bas à l'intérieur des éléments d'évaporation (224 a,b,c), puis après un léger refroidissement (242), de
- 10 bas en haut à l'intérieur des éléments de condensation (226 a-b) et finalement dans la chaudière ;
- du liquide chaud à distiller est répandu (230 a,b,c) en haut des parois extérieures des éléments d'évaporation (224 a,b,c) et s'écoule lentement le long de ces parois ;
- du liquide froid à distiller remplace continuellement (254 – 257) le liquide chaud répandu en haut des parois extérieures des éléments d'évaporation ;
- 15 - le distillat est recueilli en bas (257 a-b, 259 a-b) des parois des éléments de condensation ;
- le concentré est recueilli en bas (256 a,b,c) des parois des éléments d'évaporation.

8. Procédé de distillation selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que le liquide caloporteur circulant en circuit fermé est le liquide à distiller et le liquide froid à distiller est ajouté au

20 précédent, à l'endroit du circuit où celui-ci est le moins chaud.

9. Procédé de distillation selon l'une des revendications 5, 6 ou 7, caractérisé en ce que le liquide froid à distiller est préchauffé par un échange thermique avec le concentré et/ou le distillat.

25 10. Procédé de distillation selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que le liquide caloporteur étant le liquide à distiller, lequel est ajouté froid ou préchauffé au point le moins chaud du circuit, les éléments d'échange thermique d'évaporation creux et plats utilisés sont remplacés par des plaques rigides, verticales ou légèrement inclinées, dont une des parois est pourvue de moyens pour étaler en

30 couche mince sensiblement uniforme, le liquide répandu sur cette paroi.

35 11. Procédé de distillation selon la revendication 5, 6 ou 7, caractérisé en ce que la chaudière (222-128) est installée sous la (ou les) chambre(s) de traitement (223 ou 152-154) et la distance entre la chaudière et le réservoir (101) et/ou la (ou les) chambre(s) de traitement est suffisante pour permettre à la circulation du liquide à distiller, d'être effectuée par thermosiphon.

40 12. Procédé de distillation selon l'une des revendications 5 à 11, appliqué à la production d'eau douce, caractérisé en ce que la chaudière (122) est un chauffe-eau solaire avec ou sans accumulation, associé à un réservoir, ledit chauffe-eau est, le cas échéant, surdimensionné par rapport à la capacité de traitement des éléments d'échange thermique de la chambre de traitement et ledit réservoir possède alors un volume très supérieur au volume total des éléments d'échange thermique utilisés.

13. Elément d'échange thermique (10, 60, 94 a-b), caractérisé en ce qu'il est creux et plat, avec au moins l'une de ses parois extérieures pourvue de moyens pour efficacement étaler l'écoulement, par gravité et/ou capillarité, d'un liquide répandu sur cette paroi, laquelle peut être sensiblement plane ou cylindrique.
- 5 14. Elément d'échange thermique selon la revendication 13, caractérisé en ce que lesdits moyens d'étalement de l'écoulement sont constitués soit par un aggloméré ou un tissu perméable (15), hydrophile ou mouillable, soit par des gouttières parallèles, peu profondes, étroites (97) ou larges (99), destinées à être disposées à l'horizontale.
- 10 15. Elément d'échange thermique selon la revendication 14, caractérisé en ce que cet élément est mécaniquement stable en présence de liquides relativement chauds de moins de 100°C et il constitue un ensemble de conduits longs juxtaposés (18, 62), à parois extérieures conduisant bien la chaleur, ledit ensemble étant pourvu (1) de raccords amont (26, 72) et aval (30, 73), débouchant sur des organes de connexion (28-32, 74-75), (2) de moyens de mise en place (46, 77), adaptés à permettre de disposer
15 lesdits conduits à la verticale ou selon tout angle d'inclinaison approprié, et (3) de renforts latéraux rigides, (14 a-b, 68-69), notamment adaptés à déterminer le pas d'assemblage d'éléments juxtaposés et/ou la largeur et l'épaisseur de l'élément.
- 20 16. Elément d'échange thermique selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il forme une nappe souple rectangulaire (10), regroupant de nombreux conduits étroits (18), constitués entre des lignes de soudure longitudinales parallèles (16), réalisées entre deux membranes polymères, comportant à l'extérieur et, le cas échéant, également à l'intérieur, un revêtement hydrophile (15) collé ou soudé, et lesdits raccords (26, 32) sont formés par deux lignes de soudure transversales.
- 25 17. Elément d'échange thermique selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il est un panneau alvéolaire rigide (60), plan ou courbe, pourvu d'un revêtement hydrophile ou mouillable, collé ou soudé, et chacun de ses raccords amont et aval (72-73) forme une sorte de coiffe plate allongée, à parois minces, ladite coiffe étant engagée et fixée étanche sur les extrémités de ce panneau.
- 30 18. Elément d'échange thermique selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il est un panneau creux (96 a-b), rectangulaire, rigide, ayant au moins l'une de ses parois extérieures (95-98), pourvue de gouttières parallèles peu profondes, étroites (97) ou larges (99), transversalement disposées en cascade, et, le cas échéant, d'un revêtement intérieur hydrophile ou mouillable, les panneaux munis de gouttières étroites étant destinés à être installés à la verticale et les panneaux munis de gouttières larges, destinés à
35 être installés le long de plans légèrement inclinés par rapport à la verticale.
- 40 19. Elément d'échange thermique selon la revendication 15, caractérisé en ce que les moyens d'étalement dont au moins l'une de ses parois est pourvue sont au choix (1) un aggloméré perméable constitué par un non-tissé ou un feutre hydrophile de cellulose ou encore une feuille mouillable de poudre frittée poreuse, (2) un tissu perméable réalisé en coton hydrophile ou en fils imperméables mouillables et (3) des gouttières étroites, en métal ou en plastique dur extrudé ou encore en plastique thermo-formé.

20. Appareil de distillation, à haut coefficient de performance, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une chambre de traitement calorifugée (102) ;
- un grand nombre d'éléments d'échange thermique, creux et plats (60 ou 104 a...g), ayant au moins l'une
- 5 de leurs parois extérieures pourvue de moyens pour étaler d'une manière sensiblement uniforme un liquide en écoulement sur elle et, le cas échéant, des parois intérieures munies de moyens d'étalement semblables ;
- ces éléments étant installés dans cette chambre, de telle manière qu'ils soient séparés deux à deux par un espace libre étroit (106 a...h), de largeur sensiblement constante, rempli d'un gaz incondensable,
- 10 notamment d'air, et que leurs parois soient verticales ou légèrement inclinées par rapport à l'horizontale;
- des collecteurs amont et aval (124-126) connectés aux raccords respectivement hauts et bas de ces éléments ;
- une chaudière pour chauffer le liquide à distiller et produire de la vapeur (118) dans un réservoir (101) ;
- une turbine (120) et des conduits appropriés (122-124) pour faire circuler de haut en bas dans lesdits
- 15 éléments (104 a...g) , un courant de gaz chaud saturé en vapeur (118);
- des gouttières et des accessoires appropriés (110 a...g, 50-52), ensemble adaptés à faire uniformément couler de haut en bas des parois extérieures (104' a...g) desdits éléments (104 a...g), du liquide chaud (114) produit par la chaudière ;
- une bouteille de décantation air/liquide (128), installée à la sortie du collecteur aval (126) des éléments ;
- 20 - un échangeur thermique (130), ayant son entrée connectée à la sortie haute de la bouteille de décantation (128), installé dans un ballon de refroidissement (132), alimenté par du liquide à la température extérieure, disposé au-dessus de cette bouteille ;
- un conduit (136) pour relier la sortie de cet échangeur (130) à des tuyaux (138 a...h) débouchant à la base des espaces libres (106 a...h) séparant lesdits éléments (104 a...g) ;
- 25 - un collecteur (142), relié à des conduits (100 a...h) débouchant en haut des espaces libres (106 a...h) et pourvu d'un embout (143) plongeant dans le liquide chaud (114) contenu dans le réservoir (101) alimenté par la chaudière (99) ;
- un tuyau (146) pour recueillir le distillat à la sortie basse de la bouteille de décantation (118) ;
- un tuyau (148) pour recueillir le concentré en bas des espaces libres (106 a...h) séparant les éléments.

30

21. Appareil de distillation, à haut coefficient de performance, caractérisé en ce qu'il comprend :

- deux chambres de traitement (152-154) à parois extérieures calorifugées (153-155), respectivement affectées à l'évaporation de liquide et à la condensation de vapeur, séparées par une cloison mitoyenne isolante (156) ;
- 35 - deux groupes importants d'éléments d'échange thermique, creux et plats, (158 a,b,c et 160 a,b,c), ayant au moins l'une de leurs parois extérieures pourvue de moyens pour étaler d'une manière sensiblement uniforme un liquide en écoulement sur elle ;
- ces deux groupes étant respectivement installés dans ces deux chambres, de telle manière que leurs éléments soient séparés deux à deux par un espace libre étroit, de largeur sensiblement constante, rempli
- 40 d'un gaz incondensable, notamment d'air, (170 a...d et 172 a...d) et que leurs parois extérieures soient verticales ou légèrement inclinées par rapport à l'horizontale;

- des collecteurs hauts et bas (178 -182 et 184-193) associés aux éléments des deux chambres (152-154);
- une chaudière (168) pour chauffer un liquide caloporteur ;
- un conduit (180) pour relier l'entrée de la chaudière (168) au collecteur haut (178) des éléments (158 a,b,c) de la chambre de condensation (152) et un conduit (166) pour relier sa sortie au collecteur haut (182) des éléments (160 a,b,c) de la chambre d'évaporation (154) ;
- un organe (191) produisant un léger refroidissement, disposé entre les collecteurs bas (184-193) des éléments des deux chambres (152-154);
- des moyens (188) pour faire circuler en circuit fermé le liquide caloporteur dans les éléments d'évaporation (160 a,b,c), dans l'organe de refroidissement (191), dans les éléments de condensation (158 a,b,c) et finalement dans la chaudière (168), le liquide circulant de haut en bas dans les éléments d'évaporation et de bas en haut dans les éléments de condensation ;
- des moyens (174-176) pour faire passer, en haut de la chambre de condensation (152), le gaz chaud humide de la chambre d'évaporation (154) et, en bas de la chambre d'évaporation, le gaz asséché refroidi de la chambre de condensation ;
- des gouttières et des accessoires appropriés (162 a,b,c et 164 ab,c) ensemble adaptés à faire uniformément couler de haut en bas d'au moins l'une des parois extérieures des éléments de la chambre d'évaporation (154), du liquide à distiller, directement ou indirectement, chauffé par la chaudière (168) ;
- un conduit (194), alimenté en liquide à distiller, et une vanne (196), ensemble adaptés à fournir à l'appareil, un débit déterminé (194-196) de liquide à distiller ;
- un tuyau (198), connecté en un point bas de la chambre de condensation (152), pour recueillir le distillat et un tuyau (200), connecté en un point bas de la chambre d'évaporation (154), pour recueillir le concentré.

22. Appareil de distillation selon la revendication 21, caractérisé en ce que les moyens pour faire circuler le gaz incondensable dans les chambres de condensation (152) et d'évaporation (154) comprennent deux ouvertures, respectivement pratiquées en haut et en bas de la cloison mitoyenne (156), l'une (174) étant large et l'autre, soit réduite mais équipée d'un ventilateur (176) soit identique à la première.

23. Appareil de distillation, à coefficient de performances élevé, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une chambre de traitement calorifugée (223) ;
- un grand nombre d'éléments d'échange thermique, creux et plats (224 a,b,c - 226 a,b,c), ayant au moins l'une de ses parois extérieures pourvue de moyens pour étaler d'une manière sensiblement uniforme un liquide en écoulement sur elle ;
- ces éléments étant installés dans cette chambre de telle manière qu'ils soient séparés deux à deux par un espace libre étroit, de largeur sensiblement constante, rempli d'un gaz incondensable, notamment d'air, et que leurs parois extérieures soient verticales ou légèrement inclinées par rapport à l'horizontale;
- lesdits éléments étant répartis en deux groupes, respectivement affectés à l'évaporation de liquide (224 a,b,c) et à la condensation de vapeur (226 a,b,c), chaque élément de condensation étant disposé entre deux éléments d'évaporation;
- des collecteurs hauts (234 - 250) et bas (244 - 240) équipant les éléments de chacun des deux groupes ;
- une chaudière (222) alimentée par un liquide caloporteur ;

- deux canalisations calorifugées (252-235) reliant respectivement l'entrée et la sortie de la chaudière (222) aux collecteurs hauts (250-234) des éléments de condensation (226 a-b) et d'évaporation (224 a,b,c) ;
- un organe (242) produisant un léger refroidissement, disposé entre les collecteurs bas (240 – 244) des éléments des deux groupes,
- 5 - des moyens pour faire circuler en circuit fermé le liquide caloporteur dans les éléments d'évaporation (224 a,b,c), dans l'organe de refroidissement (242), dans les éléments de condensation (226 a-b) et finalement dans la chaudière (222), le liquide circulant de haut en bas dans les éléments d'évaporation et de bas en haut dans les éléments de condensation ;
- des gouttières et des accessoires appropriés (230 a,b,c, 50-52, 86-88), ensemble adaptés à faire
- 10 uniformément couler de haut en bas d'au moins l'une des parois extérieures des éléments d'évaporation (224 a,b,c) du liquide à distiller, directement ou indirectement, chauffé par la chaudière (222) ;
- des conduits (254-255) et une vanne (257), adaptés à fournir un débit déterminé de liquide à distiller à l'appareil ;
- des moyens (54-56, 90-92, 257 a-b, 259 a-b) pour recueillir le distillat qui s'écoule des parois extérieures
- 15 des éléments de condensation (226 a-b);
- des moyens (54-56, 90-92, 256 a,b,c, 258) pour recueillir le concentré qui s'écoule des parois extérieures des éléments d'évaporation (224 a,b,c).

24. Appareil selon la revendication 21 ou 23, caractérisé en ce que les moyens pour faire circuler le
20 liquide en circuit fermé dans les éléments comprennent une pompe (188).

25. Appareil de distillation selon la revendication 20, 21 ou 23, caractérisé en ce que la chaudière (222-128) est installée sous le réservoir (101) et/ou la (ou les) chambre(s) de traitement (223 ou 152-154) et la distance entre la chaudière et ce réservoir et/ou la (ou les) chambre(s) de traitement est suffisante pour
25 permettre à la circulation du liquide à distiller, d'être effectuée par thermosiphon.

26. Appareil de distillation selon l'une des revendications 20 à 25, appliqué à la production d'eau douce, caractérisé en ce que la chaudière (122) est un chauffe-eau solaire, avec ou sans accumulation, pourvu d'une surface (266) absorbant le rayonnement solaire et d'un réservoir associé, ladite surface étant, le cas
30 échéant, surdimensionnée par rapport à la capacité de traitement des éléments d'échange thermique de la chambre de traitement et ledit réservoir possédant alors un volume très supérieur au volume intérieur total de ces éléments et, le cas échéant, du réservoir (101) associé.

27. Appareil de distillation selon les revendications 21 ou 23, caractérisé en ce que le liquide
35 caloporteur est le liquide à distiller et que celui-ci est introduit entre les collecteurs bas (240 – 244) des éléments d'échange thermique d'évaporation (160 a,b,c ou 224 a,b,c) et de condensation (158 a,b,c ou 226 a,b,c).

28. Appareil de distillation selon l'une des revendications 20, 21,23, caractérisé en ce que le liquide
40 froid à distiller est préchauffé dans un échangeur thermique approprié, alimenté par le distillat et/ou le condensé.

29. Appareil de distillation selon l'une des revendications 21 et 23, caractérisé en ce que le liquide caloporteur étant le liquide à distiller, le cas échéant préchauffé avant son introduction dans les éléments de condensation, dans cet appareil, les éléments d'évaporation, précédemment prévus creux et plats, sont
5 remplacés par une plaque rigide d'évaporation, disposée à la verticale ou légèrement inclinée par rapport à l'horizontale, cette plaque ayant au moins une paroi pourvue de moyens pour étaler d'une manière sensiblement uniforme un liquide en écoulement sur elle.

30. Appareil de distillation selon l'une des revendications 20 à 29, caractérisé en ce que la ou les
10 chambres de traitement ont un fond rectangulaire et les éléments d'échange thermique concernés ont des parois extérieures sensiblement planes, de forme rectangulaire, et ils sont installés à la verticale ou légèrement inclinés par rapport à l'horizontale.

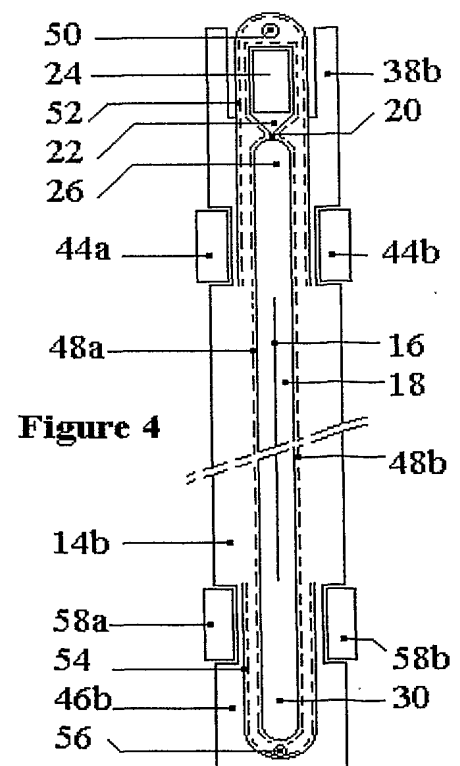
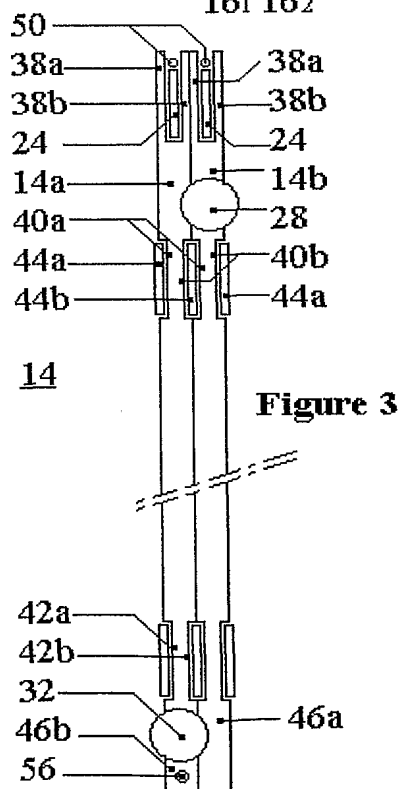
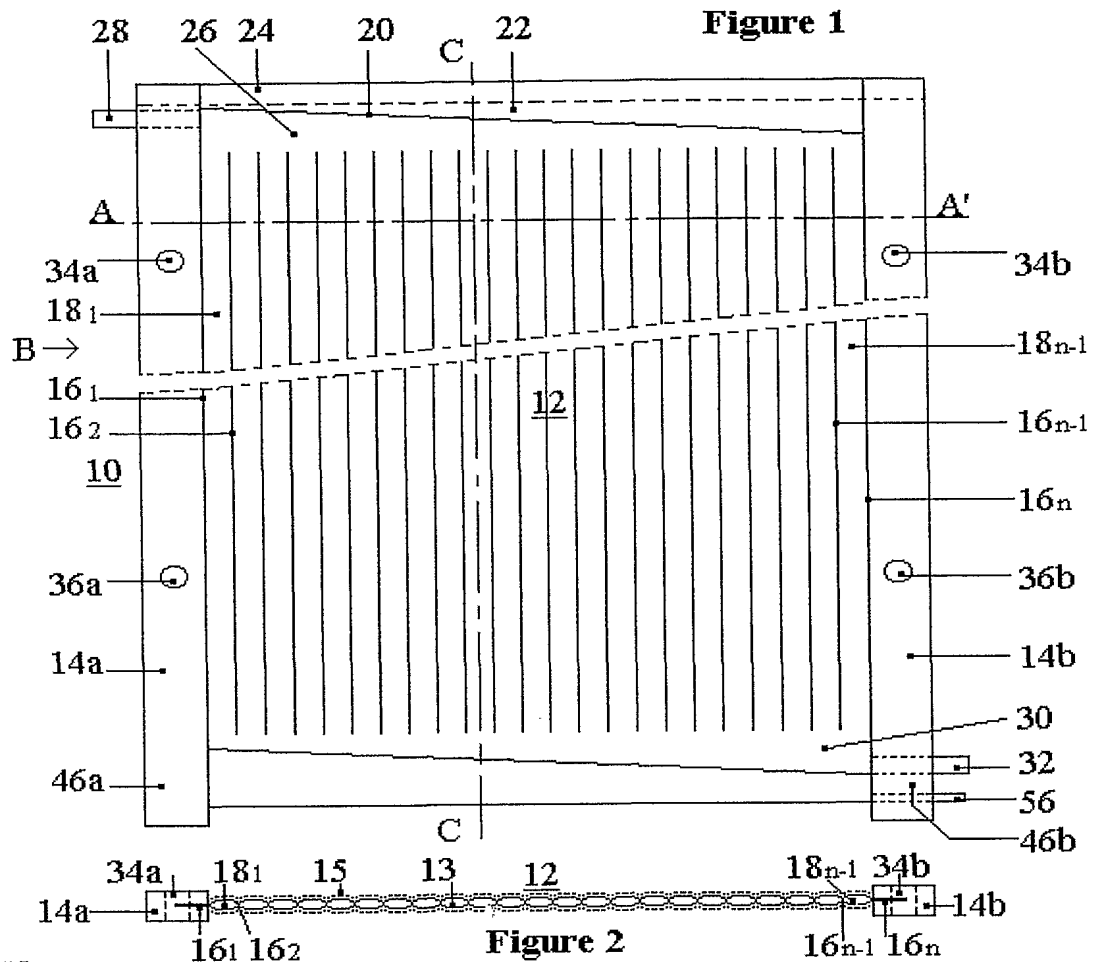
15

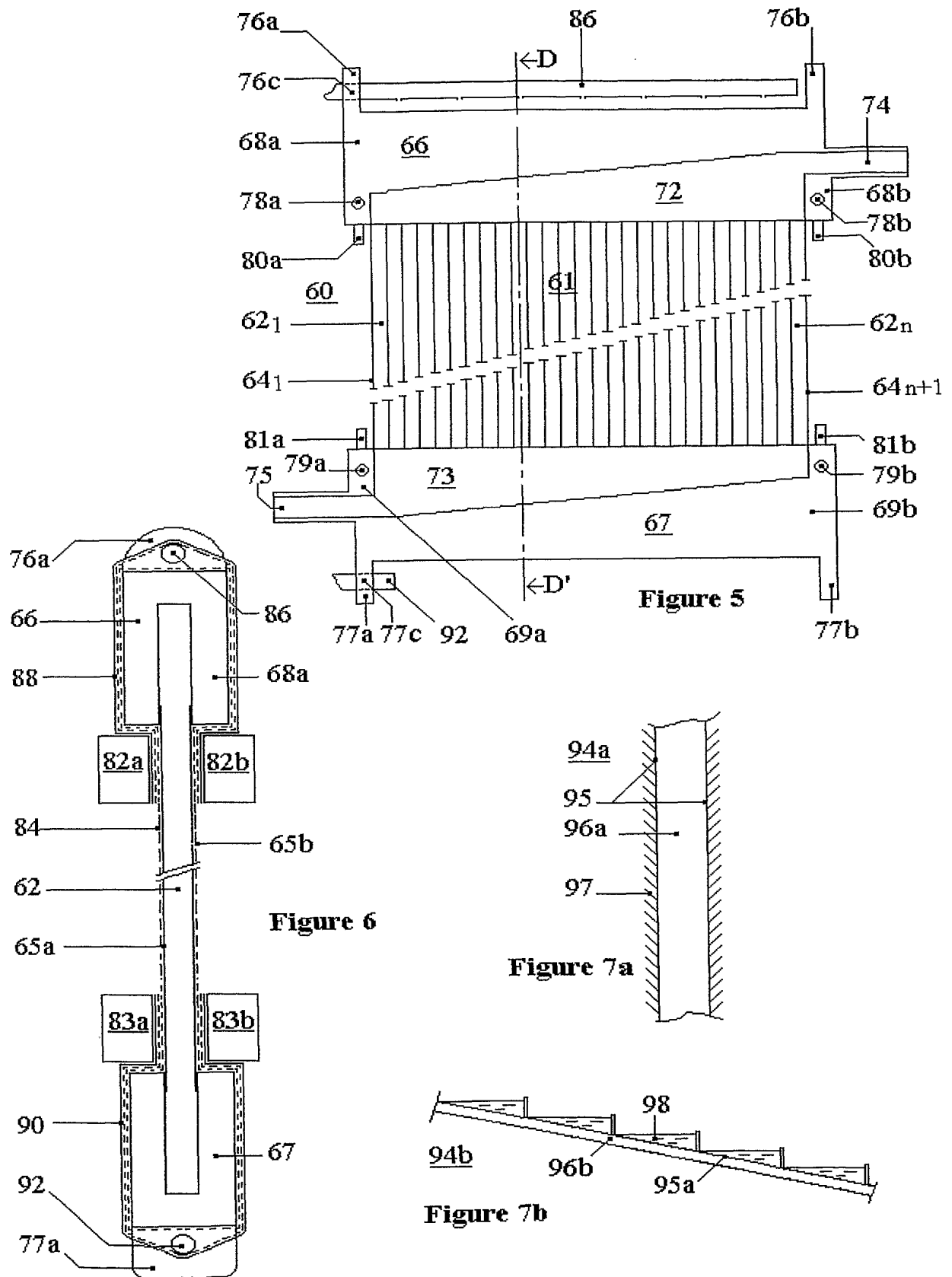
20

25

30

35





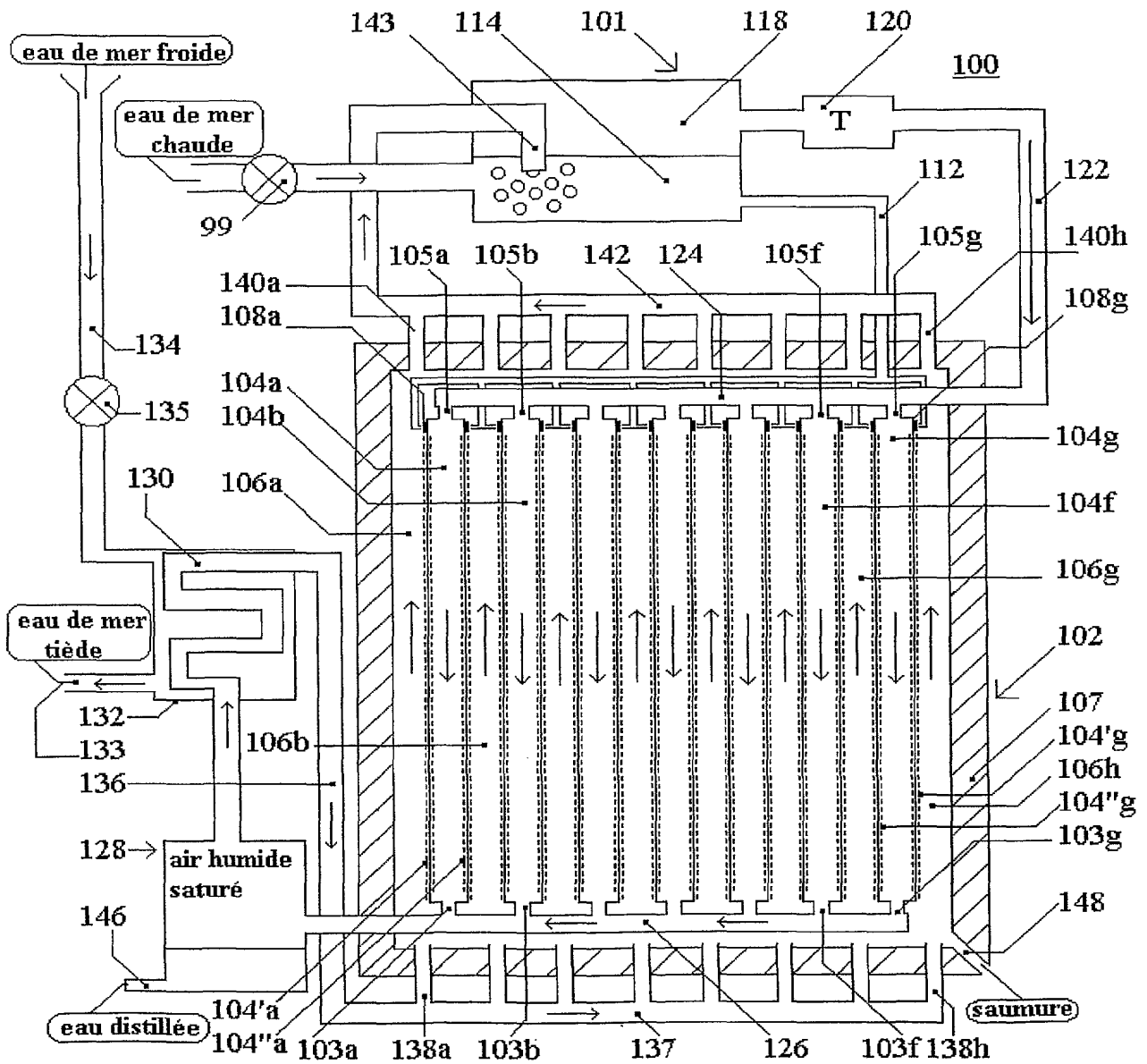


Figure 8

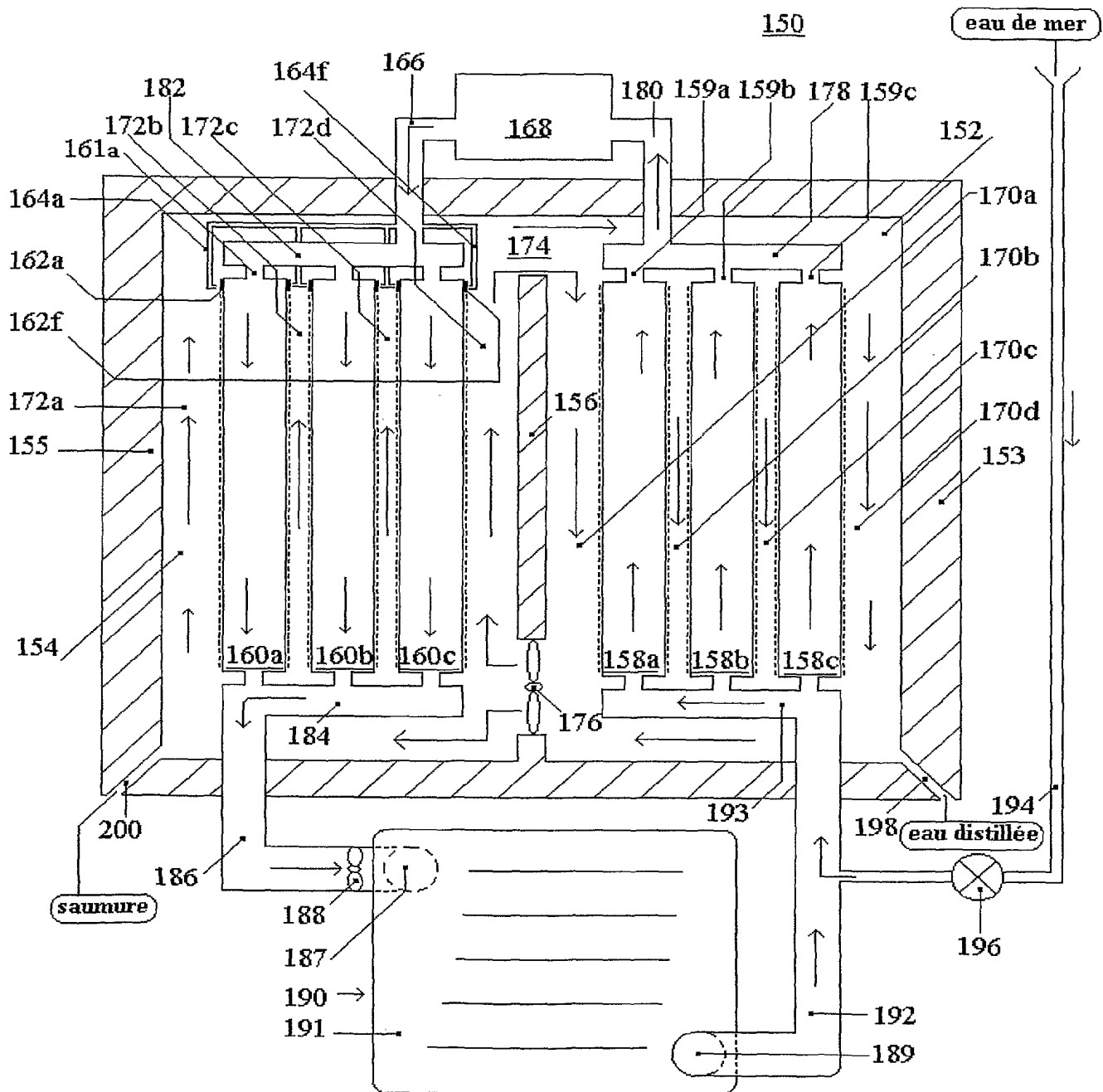


Figure 9

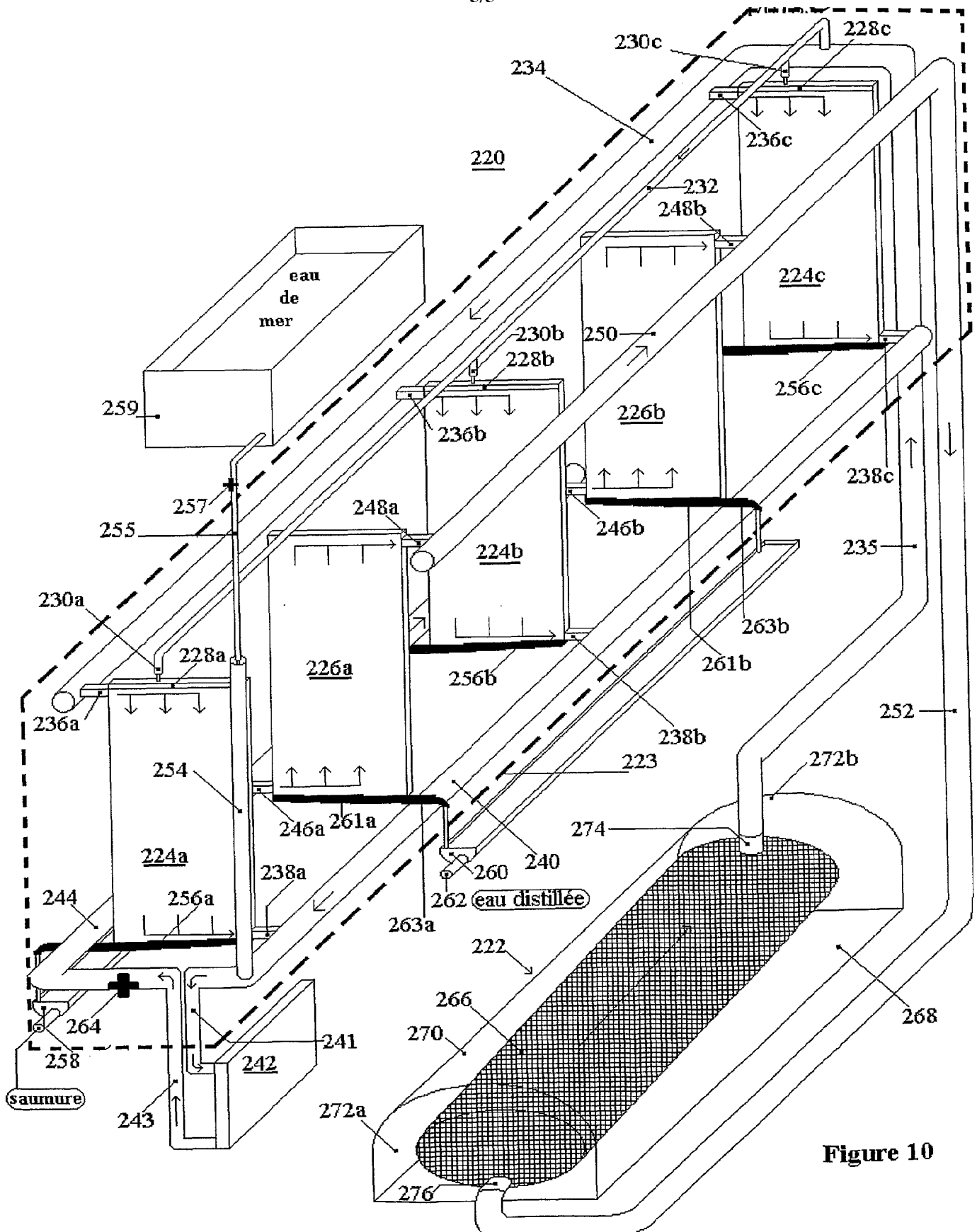


Figure 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 01/01832

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 C02F1/14 B01D3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 C02F B01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BE 768 099 A (C.F.A.LABRIQUE ET AL.) 3 November 1971 (1971-11-03) claims 1,8; figure 4 ---	1,5,20
A	BE 758 288 A (C.F.A.LABRIQUE ET AL.) 1 April 1971 (1971-04-01) the whole document ---	1,5,20
A	FR 2 713 219 A (P.DESPLATS ET AL.) 9 June 1995 (1995-06-09) cited in the application the whole document ---	1,2,6,21
A	DE 32 42 807 A (MITSUBISHI DENKI K.K.) 24 May 1984 (1984-05-24) claims 1-9; figure 1 ---	1,3,7,23
	-/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 October 2001

Date of mailing of the international search report

26/10/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bertram, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 01/01832

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BE 1 002 903 A (J.-P.A.LABRIQUE) 23 July 1991 (1991-07-23) the whole document ----	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 003, 7 January 1983 (1983-01-07) & JP 57 162605 A (DIESEL KIKI CO), ---- 6 October 1982 (1982-10-06) abstract	16
A	WO 98 16474 A (J.-P.DOMEN) 23 April 1998 (1998-04-23) cited in the application the whole document -----	1-30

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 01/01832

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
BE 768099	A	03-11-1971	BE 768099 A4	03-11-1971
BE 758288	A	01-04-1971	BE 758288 A4	01-04-1971
FR 2713219	A	09-06-1995	FR 2713219 A1	09-06-1995
DE 3242807	A	24-05-1984	DE 3242807 A1	24-05-1984
BE 1002903	A	23-07-1991	BE 1002903 A6	23-07-1991
JP 57162605	A	06-10-1982	JP 60045776 B	12-10-1985
WO 9816474	A	23-04-1998	FR 2754530 A1	17-04-1998
			FR 2764593 A1	18-12-1998
			AU 719767 B2	18-05-2000
			AU 4871497 A	11-05-1998
			BR 9712522 A	21-12-1999
			CN 1233229 A	27-10-1999
			EP 0946423 A1	06-10-1999
			WO 9816474 A1	23-04-1998
			JP 2001502597 T	27-02-2001
			TR 9900821 T2	21-07-1999

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 01/01832

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 C02F1/14 B01D3/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 C02F B01D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	BE 768 099 A (C.F.A.LABRIQUE ET AL.) 3 novembre 1971 (1971-11-03) revendications 1,8; figure 4	1,5,20
A	BE 758 288 A (C.F.A.LABRIQUE ET AL.) 1 avril 1971 (1971-04-01) le document en entier	1,5,20
A	FR 2 713 219 A (P.DESPLATS ET AL.) 9 juin 1995 (1995-06-09) cité dans la demande le document en entier	1,2,6,21
A	DE 32 42 807 A (MITSUBISHI DENKI K.K.) 24 mai 1984 (1984-05-24) revendications 1-9; figure 1	1,3,7,23
	-/--	



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

Z document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

18 octobre 2001

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

26/10/2001

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Bertram, H

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 01/01832

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	BE 1 002 903 A (J.-P.A.LABRIQUE) 23 juillet 1991 (1991-07-23) le document en entier ---	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 003, 7 janvier 1983 (1983-01-07) & JP 57 162605 A (DIESEL KIKI CO), 6 octobre 1982 (1982-10-06) abrégé ----	16
A	WO 98 16474 A (J.-P.DOMEN) 23 avril 1998 (1998-04-23) cité dans la demande le document en entier -----	1-30

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR 01/01832

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
BE 768099	A	03-11-1971	BE 768099 A4	03-11-1971
BE 758288	A	01-04-1971	BE 758288 A4	01-04-1971
FR 2713219	A	09-06-1995	FR 2713219 A1	09-06-1995
DE 3242807	A	24-05-1984	DE 3242807 A1	24-05-1984
BE 1002903	A	23-07-1991	BE 1002903 A6	23-07-1991
JP 57162605	A	06-10-1982	JP 60045776 B	12-10-1985
WO 9816474	A	23-04-1998	FR 2754530 A1	17-04-1998
			FR 2764593 A1	18-12-1998
			AU 719767 B2	18-05-2000
			AU 4871497 A	11-05-1998
			BR 9712522 A	21-12-1999
			CN 1233229 A	27-10-1999
			EP 0946423 A1	06-10-1999
			WO 9816474 A1	23-04-1998
			JP 2001502597 T	27-02-2001
			TR 9900821 T2	21-07-1999